



**ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERÍA
TÉCNICA DE TELECOMUNICACIÓN**



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

**PROYECTO FIN DE CARRERA
(Plan 2000)**

EVOLUCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS xDSL

**Helena Fernández Vicente
Telemática**

SEPTIEMBRE 2013



Escuela Universitaria de
Ingeniería Técnica de Telecomunicación
Universidad Politécnica de Madrid



Proyecto Fin de Carrera (Plan 2000)

Tema: Tecnologías de acceso a la red

Título: Evolución de las tecnologías xDSL

Autor: Helena Fernández Vicente

Titulación: Ingeniería Técnica de Telecomunicación
(Telemática)

Tutor: Antonio Redondo Hidalgo

Departamento: DIATEL

Director: Miguel Ángel Valero

Tribunal: Presidente – Cristina Bonis Téllez

Secretaria – Emilia Pérez Belleboni

Fecha de lectura: 19 de Septiembre de 2013

RESUMEN:

El objetivo de este proyecto es presentar un estudio acerca de la evolución a lo largo del tiempo de las diferentes tecnologías de acceso a la red que hacen uso de la planta instalada de par de cobre, llamadas tecnologías xDSL, y prestando especial interés a aquellas más ampliamente implantadas y aquellas que ofrecen velocidades de acceso mayores.

El estudio hará un breve repaso a esta evolución desde la tecnología HDSL, la primera en utilizar el bucle de abonado para la transmisión de datos digitales, hasta las más utilizadas actualmente, como el ADSL2+ o el VDSL2.

Además, se profundizará en el desarrollo de las tecnologías de acceso a la red de alta velocidad, principalmente asimétricas, haciendo un amplio estudio del funcionamiento de tecnologías desde el ADSL hasta el VDSL2. Se expondrán las diferencias entre todas ellas, atendiendo a las ventajas que cada una ofrece frente a las desarrolladas anteriormente, para lo que se tendrá en cuenta, principalmente, el uso cada vez más eficiente que se hace del espectro de frecuencias disponible, así como la velocidad máxima teórica que se podría alcanzar con cada una de ellas.

Existen además, varias técnicas que permiten mejorar el rendimiento de la tecnología VDSL2, se repasarán brevemente, y se dedicará parte del estudio a aquella que permite agrupar varias líneas en una sola conexión, tecnología llamada bonding.

Para complementar el estudio se realizarán una serie de simulaciones que permitan reflejar las mejoras que se van produciendo en las distintas tecnologías que se han ido desarrollando a lo largo del tiempo, observando para ello los diferentes puntos que se han tenido en cuenta en la parte teórica y haciendo hincapié en aquellas ventajas que más valorará el usuario final.

Con un simulador de bucles de diferentes distancias, y un simulador e inyector de ruido, se simularán distintos escenarios en los que realizaran medidas de la velocidad de sincronismo obtenida utilizando tres tecnologías distintas, ADSL2+, VDSL2 y VDSL2 Bonding. Con los resultados obtenidos, se realizará una valoración de las condiciones en las que se obtienen mejores rendimientos con cada una de ellas.

ABSTRACT:

The goal of this Project is studying the historical evolution of different access technologies based on twisted pair, also known as xDSL access. I will focus on those technologies widely deployed and those that provide greater access speeds.

I will begin with a historical approach, from HDSL, the first technology to use the copper pair to transmit digital data, to the most used nowadays, ADSL2+ and VDSL2.

Later on, I will make a deep analysis of broadband access technologies, mainly asymmetric ones, from ADSL to VDSL2. I will explain the differences between them, paying special attention to their advantages in the face of the previous ones. To evaluate these leverages I will mainly consider the frequency spectrum efficiency and the maximum theoretical speed, both upstream and downstream.

I will make a brief introduction to various techniques that improve VDSL2 performance. But I will take some more time to explain *bonding*, a technique that allows link some lines in a unique connection.

To finish the project I will make a series of simulations that reflect the improvements achieved with each new technology, keeping in mind all those points reflected in the theoretical part of the project, and focusing on those advantages most valuable to the end user. I will analyze the obtained data to evaluate the best conditions for each technology.

Those simulations will be made using a loop simulator and a noise injector to evaluate different scenarios, making rate measurements of three technologies, i.e. ADSL2+, VDSL2 and VDSL2 Bonding.

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	INTRODUCCIÓN	1
1.2.	OBJETIVO DEL PROYECTO	1
2.	EL BUCLE DE ABONADO Y LAS TECNOLOGÍAS DSL	5
2.1.	INTRODUCCIÓN	5
2.2.	CARACTERÍSTICAS DEL BUCLE	5
2.3.	ATENUACIÓN	9
2.3.1.	<i>Efecto pelicular (Skin effect)</i>	10
2.4.	RUIDO	11
2.4.1.	<i>Ruido blanco</i>	12
2.4.2.	<i>Diafonía o Crosstalk</i>	12
2.4.3.	<i>Interferencia electromagnética o RFI</i>	14
2.4.4.	<i>Ruido impulsivo</i>	14
2.5.	ACCESO AL BUCLE. LIBERALIZACIÓN DEL MERCADO	15
2.5.1.	<i>Proceso de liberalización</i>	15
2.5.2.	<i>OBA</i>	16
2.6.	RESUMEN	18
3.	TECNOLOGÍAS XDSL	19
3.1.	INTRODUCCIÓN	19
3.2.	NORMALIZACIÓN DEL DSL	20
3.2.1.	<i>Grupos de normalización</i>	20
3.2.1.1.	Unión Internacional de Telecomunicaciones – ITU	20
3.2.1.2.	Instituto Nacional Estadounidense de Normalización – ANSI	21
3.2.1.3.	Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones – ETSI	22
3.2.1.4.	DSL Forum	22
3.2.1.5.	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos – IEEE	22
3.3.	xDSL	23
3.3.1.	<i>Capacidad máxima del canal: Teorema de Shannon – Hartley</i>	23
3.3.2.	<i>Modulación de la señal en xDSL</i>	25
3.3.3.	<i>Tecnologías xDSL</i>	27
3.3.3.1.	Línea de abonado digital de alta velocidad (HDSL)	29
3.3.3.2.	Línea de abonado digital simétrica (SDSL)	30
3.3.3.3.	Línea de abonado digital de alta velocidad simétrica (G.SHDSL)	30
3.3.3.4.	Línea de abonado digital asimétrica (ADSL)	31
3.3.3.5.	Línea de abonado digital asimétrica (ADSL2)	32
3.3.3.6.	Línea de abonado digital asimétrica (ADSL2+)	32
3.3.3.7.	Línea de abonado digital de muy alta velocidad (VDSL)	32
3.3.3.8.	Línea de abonado digital de muy alta velocidad 2 (VDSL2)	33
3.4.	RESUMEN	34
4.	LÍNEA DE ABONADO DIGITAL ASIMÉTRICA ADSL	35
4.1.	INTRODUCCIÓN	35
4.2.	TECNOLOGÍAS ADSL. EVOLUCIONES	36
4.2.1.	<i>ADSL (G.992.1)</i>	36
4.2.1.1.	Funcionamiento	36
4.2.1.2.	División del espectro de frecuencias	40
4.2.1.3.	Características funcionales	46
4.2.1.4.	Ventajas e inconvenientes	50
4.2.2.	<i>ADSL2</i>	52
4.2.2.1.	Introducción	52
4.2.2.2.	Mejoras	52
4.2.2.3.	Nuevas funcionalidades	55
4.2.3.	<i>ADSL2+</i>	59
4.2.3.1.	Introducción	59
4.2.3.2.	Mejoras	60
4.2.3.3.	Nuevas funcionalidades	60
4.3.	RESUMEN	61

5.	LÍNEA DE ABONADO DIGITAL DE MUY ALTA VELOCIDAD VDSL Y VDSL2.....	63
5.1.	INTRODUCCIÓN	63
5.2.	TECNOLOGÍA VDSL.....	64
5.2.1.	VDSL.....	64
5.2.1.1.	Funcionamiento	64
5.2.1.2.	División del espectro de frecuencias	66
5.2.1.3.	Densidad Espectral de Potencia PSD.....	68
5.2.1.4.	Upstream Power Back-Off.....	69
5.2.2.	VDSL2.....	70
5.2.2.1.	Introducción	70
5.2.2.2.	Mejoras.....	70
5.2.2.3.	Planes de bandas	71
5.2.2.4.	Perfiles.....	74
5.2.2.5.	Máscara espectral de potencia.....	80
5.3.	PERFILES VDSL2 UTILIZADOS EN ESPAÑA	81
5.4.	REGULACIÓN EN ESPAÑA.....	81
5.4.1.	<i>Telefónica como operador con poder significativo.....</i>	<i>81</i>
5.4.2.	<i>Plan de Gestión del Espectro. Conformado espectral.</i>	<i>83</i>
5.5.	MEJORAS.....	86
5.5.1.	VDSL2 Vectoring.....	87
5.5.2.	Phantom Mode.....	87
5.5.3.	Agrupación de múltiples pares (Bonding).....	88
5.6.	RESUMEN	88
6.	AGRUPACIÓN DE MÚLTIPLES PARES (BONDING)	89
6.1.	INTRODUCCIÓN	89
6.2.	BONDING BASADO EN ATM	90
6.2.1.	Introducción	90
6.2.2.	Cabeceras.....	90
6.2.3.	Mensajes de información de estado	91
6.2.4.	Funcionamiento.....	92
6.3.	BONDING BASADO EN PTM.....	93
6.3.1.	Introducción	93
6.3.2.	Ventajas	93
6.3.3.	Funcionamiento	94
6.3.3.1.	Definición de grupo.....	94
6.3.3.2.	Fragmentación.....	95
6.3.3.3.	Reensamblado	95
6.3.3.4.	Inicialización.....	96
6.4.	RESUMEN	96
7.	VDSL2 BONDING. ESTUDIO DE RENDIMIENTO	97
7.1.	OBJETIVO	97
7.2.	EQUIPAMIENTO	97
7.3.	FUENTES DE RUIDO	97
7.4.	DISEÑO DE PRUEBAS	99
7.4.1.	Perfiles ADSL2+	99
7.4.1.1.	Perfil sin límite de velocidad y Anexo M	99
7.4.1.2.	Perfil limitado a 20 Mbps/1 Mbps	100
7.4.2.	Perfiles VDSL2	100
7.4.2.1.	Perfil sin límite de velocidad.....	102
7.4.2.1.1.	Perfil de canal.....	102
7.4.2.1.2.	Plantilla.....	103
7.4.2.2.	Perfil limitado a 30 Mbps/1,5 Mbps	103
7.4.2.2.1.	Perfil de canal.....	103
7.4.2.2.2.	Plantilla.....	103
7.4.2.3.	Perfil limitado a 20 Mbps/1 Mbps	104
7.4.2.3.1.	Perfil de canal.....	104
7.4.2.3.2.	Plantilla.....	104
7.4.3.	Perfiles VDSL2 bonding.....	104
7.4.3.1.	Perfil sin límite de velocidad en cada uno de los canales	106
7.4.3.1.1.	Perfil de canal.....	106

7.4.3.1.2.	Plantilla.....	106
7.4.3.2.	Perfil limitado a 30 Mbps/3,5 Mbps en cada uno de los canales	106
7.4.3.2.1.	Perfil de canal	106
7.4.3.2.2.	Plantilla.....	107
7.4.3.3.	Perfil limitado a 20 Mbps/1 Mbps en cada uno de los canales	107
7.4.3.3.1.	Perfil de canal	107
7.4.3.3.2.	Plantilla.....	107
7.4.4.	<i>Señales interferentes utilizadas</i>	108
7.4.4.1.	Ruido Blanco (AWGN).....	109
7.4.4.2.	Modelo de ruido 1: ADSL2+ FB (FEXT=850m) + AWGN+ ETSI-A.....	110
7.4.4.3.	Modelo de ruido 2: FEXT 10 ADSL2+ y 2 VDSL2 (FEXT=850m) + AWGN+ ETSI-A	111
7.4.4.4.	Modelo de ruido 3: ADSL2+ FB y 13 VDSL2 (FEXT=850) + AWGN + ETSI-A	112
7.5.	SIMULACIONES ADSL2+	113
7.5.1.	<i>Perfil sin límite de velocidad</i>	113
7.5.1.1.	AWGN	113
7.5.1.2.	Modelo 3	115
7.5.1.3.	Modelo 1	116
7.5.1.4.	Modelo 2	117
7.5.1.5.	Comparativa medidas <i>downstream</i>	119
7.5.1.6.	Comparativa medidas <i>upstream</i>	120
7.5.2.	<i>Perfil limitado a 20 Mbps/1 Mbps</i>	121
7.5.2.1.	AWGN	121
7.5.2.2.	Modelo 3	123
7.5.2.3.	Modelo 1	124
7.5.2.4.	Modelo 2	125
7.5.2.5.	Comparativa medidas <i>downstream</i>	126
7.5.2.6.	Comparativa medidas <i>upstream</i>	127
7.6.	SIMULACIONES VDSL2	128
7.6.1.	<i>Perfil sin límite de velocidad</i>	128
7.6.1.1.	AWGN	128
7.6.1.2.	Modelo 3	130
7.6.1.3.	Modelo 1	131
7.6.1.4.	Modelo 2	132
7.6.1.5.	Comparativa medidas <i>downstream</i>	133
7.6.1.6.	Comparativa medidas <i>upstream</i>	134
7.6.2.	<i>Perfil limitado a 30 Mbps/3,5 Mbps</i>	135
7.6.2.1.	AWGN	135
7.6.2.2.	Modelo 3	137
7.6.2.3.	Modelo 1	139
7.6.2.4.	Modelo 2	141
7.6.2.5.	Comparativa medidas <i>downstream</i>	143
7.6.2.6.	Comparativa medidas <i>upstream</i>	144
7.7.	SIMULACIONES VDSL2 BONDING.....	145
7.7.1.	<i>Perfil sin límite de velocidad en cada uno de los canales</i>	145
7.7.1.1.	Pares de la misma longitud	145
7.7.1.1.1.	AWGN + AWGN.....	145
7.7.1.1.2.	Modelo 3 + Modelo 3.....	147
7.7.1.1.3.	AWGN + Modelo 3.....	148
7.7.1.1.4.	Modelo 1 + Modelo 1.....	149
7.7.1.1.5.	Modelo 2 + Modelo 2.....	150
7.7.1.1.6.	Modelo 1 + Modelo 2.....	151
7.7.1.1.7.	Comparativa medidas <i>downstream</i>	152
7.7.1.1.8.	Comparativa medidas <i>upstream</i>	152
7.7.1.2.	Pares con una diferencia de 400m de longitud.....	154
7.7.1.2.1.	AWGN + AWGN.....	154
7.7.1.2.2.	Modelo 3 + Modelo 3.....	155
7.7.1.2.3.	AWGN + Modelo 3.....	156
7.7.1.2.4.	Modelo 1 + Modelo 1.....	157
7.7.1.2.5.	Modelo 2 + Modelo 2.....	158
7.7.1.2.6.	Modelo 1 + Modelo 2.....	159
7.7.1.2.7.	Comparativas medidas <i>downstream</i>	160
7.7.1.2.8.	Comparativa medidas <i>upstream</i>	161
7.7.1.3.	Pares con una diferencia de 700m de longitud.....	162
7.7.1.3.1.	AWGN + AWGN.....	162

7.7.1.3.2.	Modelo 3 + Modelo 3.....	163
7.7.1.3.3.	AWGN + Modelo 3.....	164
7.7.1.3.4.	Modelo 1 + Modelo 1.....	165
7.7.1.3.5.	Modelo 2 + Modelo 2.....	166
7.7.1.3.6.	Modelo 1 + Modelo 2.....	167
7.7.1.3.7.	Comparativa medidas <i>downstream</i>	168
7.7.1.3.8.	Comparativa medidas <i>upstream</i>	168
7.7.2.	<i>Perfil limitado a 30 Mbps/3,5 Mbps en cada uno de los canales</i>	169
7.7.2.1.	Pares de la misma longitud	169
7.7.2.1.1.	AWGN + AWGN.....	169
7.7.2.1.2.	Modelo 3 + Modelo 3.....	171
7.7.2.1.3.	AWGN + Modelo 3.....	172
7.7.2.1.4.	Modelo 1 + Modelo 1.....	173
7.7.2.1.5.	Modelo 2 + Modelo 2.....	174
7.7.2.1.6.	Modelo 1 + Modelo 2.....	175
7.7.2.1.7.	Comparativa medidas <i>downstream</i>	176
7.7.2.1.8.	Comparativa medidas <i>upstream</i>	176
7.7.2.2.	Pares con una diferencia de 400m de longitud.....	177
7.7.2.2.1.	AWGN + AWGN.....	177
7.7.2.2.2.	Modelo 3 + Modelo 3.....	178
7.7.2.2.3.	AWGN + Modelo 3.....	179
7.7.2.2.4.	Modelo 1 + Modelo 1.....	180
7.7.2.2.5.	Modelo 2 + Modelo 2.....	181
7.7.2.2.6.	Modelo 1 + Modelo 2.....	182
7.7.2.2.7.	Comparativa medidas <i>downstream</i>	183
7.7.2.2.8.	Comparativa medidas <i>upstream</i>	183
7.7.2.3.	Pares con una diferencia de 700m de longitud.....	184
7.7.2.3.1.	AWGN + AWGN.....	184
7.7.2.3.2.	Modelo 3 + Modelo 3.....	185
7.7.2.3.3.	AWGN + Modelo 3.....	186
7.7.2.3.4.	Modelo 1 + Modelo 1.....	187
7.7.2.3.5.	Modelo 2 + Modelo 2.....	188
7.7.2.3.6.	Modelo 1 + Modelo 2.....	189
7.7.2.3.7.	Comparativa medidas <i>downstream</i>	190
7.7.2.3.8.	Comparativa medidas <i>upstream</i>	190
7.7.3.	<i>Perfil limitado a 20 Mbps/1 Mbps en cada uno de los canales</i>	191
7.7.3.1.	Pares de la misma longitud	191
7.7.3.1.1.	AWGN + AWGN.....	191
7.7.3.1.2.	Modelo 3 + Modelo 3.....	193
7.7.3.1.3.	AWGN + Modelo 3.....	194
7.7.3.1.4.	Modelo 1 + Modelo 1.....	195
7.7.3.1.5.	Modelo 2 + Modelo 2.....	196
7.7.3.1.6.	Modelo 1 + Modelo 2.....	197
7.7.3.1.7.	Comparativa medidas <i>downstream</i>	198
7.7.3.1.8.	Comparativa medidas <i>upstream</i>	198
7.7.3.2.	Pares con una diferencia de 400m de longitud.....	199
7.7.3.2.1.	AWGN + AWGN.....	199
7.7.3.2.2.	Modelo 3 + Modelo 3.....	200
7.7.3.2.3.	AWGN + Modelo 3.....	201
7.7.3.2.4.	Modelo 1 + Modelo 1.....	202
7.7.3.2.5.	Modelo 2 + Modelo 2.....	203
7.7.3.2.6.	Modelo 1 + Modelo 2.....	204
7.7.3.2.7.	Comparativa medidas <i>downstream</i>	205
7.7.3.2.8.	Comparativa medidas <i>upstream</i>	205
7.7.3.3.	Pares con una diferencia de 700m de longitud.....	206
7.7.3.3.1.	AWGN + AWGN.....	206
7.7.3.3.2.	Modelo 3 + Modelo 3.....	207
7.7.3.3.3.	AWGN + Modelo 3.....	208
7.7.3.3.4.	Modelo 1 + Modelo 1.....	209
7.7.3.3.5.	Modelo 2 + Modelo 2.....	210
7.7.3.3.6.	Modelo 1 + Modelo 2.....	211
7.7.3.3.7.	Comparativa medidas <i>downstream</i>	212
7.7.3.3.8.	Comparativa medidas <i>upstream</i>	213

7.8.	CONCLUSIONES.....	214
7.8.1.	<i>VDSL2 frente ADSL2+</i>	<i>214</i>
7.8.2.	<i>VDSL2 Bonding frente a VDSL2</i>	<i>217</i>
7.8.3.	<i>Diferencia de longitudes entre los pares del grupo</i>	<i>220</i>
7.8.4.	<i>Resumen.....</i>	<i>222</i>
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	225

1. INTRODUCCIÓN

1.1. *Introducción*

Hasta no hace muchos años el negocio de las telecomunicaciones consistía en organizaciones, normalmente en manos de los respectivos gobiernos del país, ofreciendo, en régimen de monopolio servicio telefónico casi exclusivamente.

Actualmente el modelo de negocio no se parece nada al de antaño. La liberalización del mercado, que abre las puertas a nuevos competidores, obliga a las nuevas compañías a una constante innovación tecnológica, así como una reducción de precios, para conseguir una cuota de mercado en este sector.

La industria de las telecomunicaciones ha pasado a convertirse en una de las más dinámicas y de mayor crecimiento en todo el mundo.

En España, en 1998 se aprueba en el Parlamento la Ley General de Telecomunicaciones, posteriormente modificada en 2003, que favorece la libre competencia y garantiza el carácter de servicio público que tienen las telecomunicaciones.

De esta forma, numerosos operadores tanto de redes fijas como móviles obtienen licencia para operar en nuestro país.

Desde esta liberalización y hasta la actualidad la explotación de la planta de pares de cobres instalada ha evolucionado, surgiendo nuevas tecnologías que permiten su uso para ofrecer servicios de banda ancha con prestaciones cada vez mejores.

1.2. *Objetivo del proyecto*

La red telefónica conmutada (RTC), se diseñó para permitir comunicaciones de voz, que requieren muy poco ancho de banda, entre los 300 Hz y los 3400 Hz. Esta red

de acceso, constituida por pares de cobre tenía serias limitaciones para soportar servicios que requieren un gran ancho de banda.

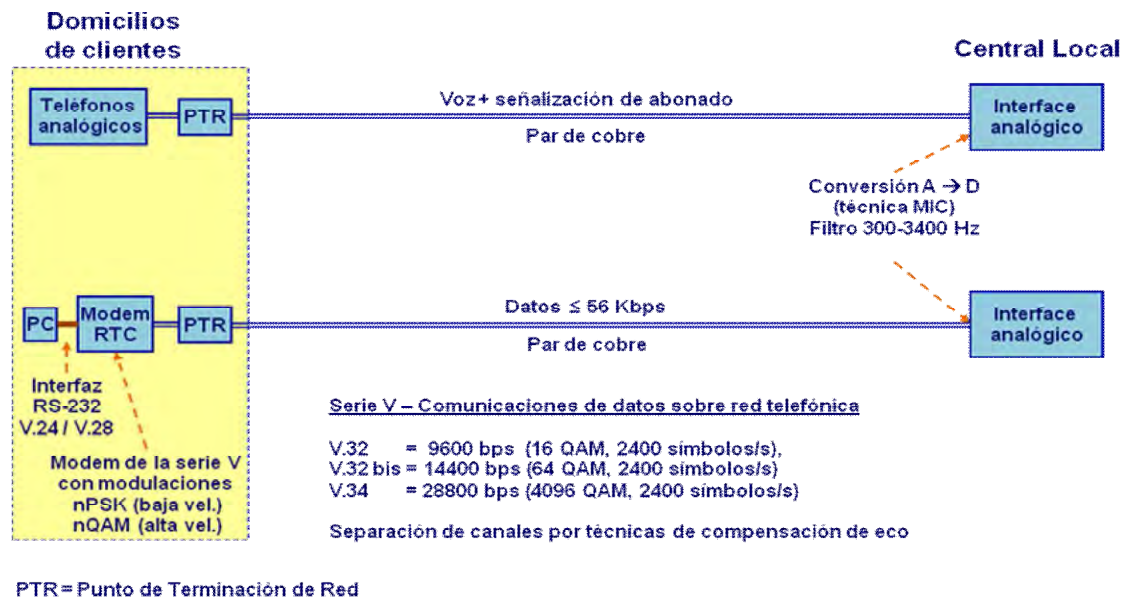


Fig. 1.1 Voz y datos por la red telefónica

Con el uso de módems para red telefónica conmutada (módems RTC) podía llegar a soportar flujos de datos de 56 kbps, pero este servicio de datos no podía ser simultáneo con el servicio de voz. En el caso de la Red digital de servicios integrados de banda estrecha (RDSI-BE) se podría tener un máximo de $2 \times 64 \text{ kbps} = 128 \text{ Kbps}$.

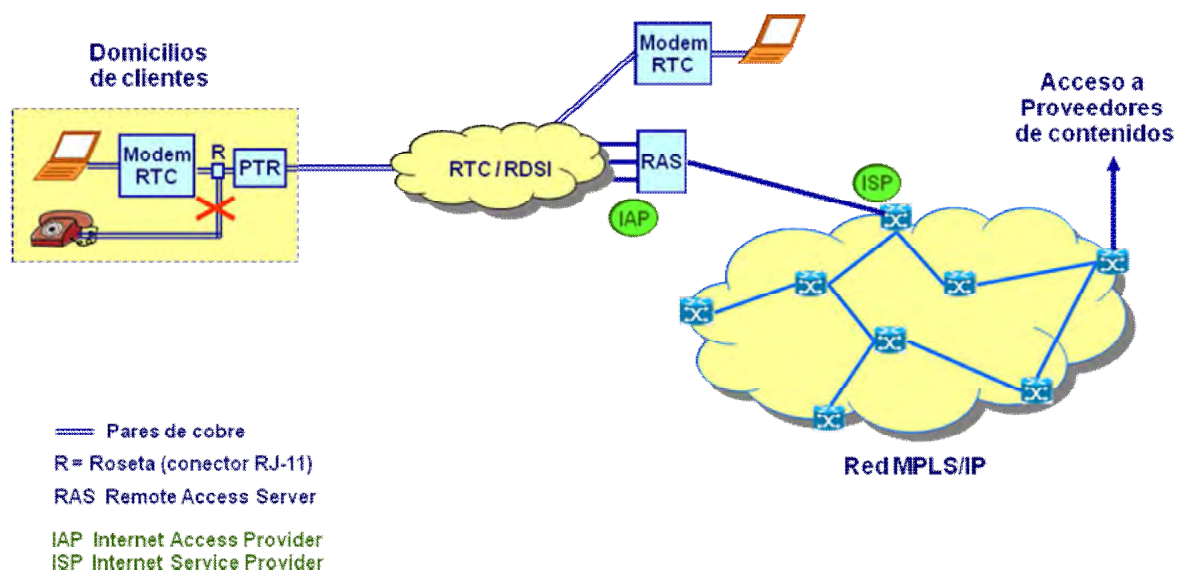


Fig. 1.2 Datos por la red telefónica

No fue hasta la llegada de la tecnología xDSL cuando estas limitaciones de ancho de banda se vieron superadas, pudiendo aprovechar el bucle de cobre para ofrecer servicios de banda ancha a los usuarios finales. Además, presenta otras ventajas como la simultaneidad con el uso de los servicios de voz por red telefónica.

De todas las tecnologías de esta familia desarrolladas la más extendida es sin duda el ADSL. El ADSL proporciona un acceso asimétrico y de alta velocidad a través del par de cobre. Las velocidades alcanzadas con las primeras versiones son de unos 1.5 Mbps en sentido descendente a distancias de 5 o 6 Km. máximo.

Posteriormente aparecieron evoluciones del ADSL, el ADSL2 y ADSL2+ que permitían ofrecer tasas de transferencia muy superiores al ADSL haciendo uso de la misma infraestructura. De esta forma, con ADSL2+ se pueden alcanzar velocidades de bajada de hasta 24 Mbps, y de subida de hasta 3.5 Mbps.

Por último aparece la tecnología VDSL y su posterior evolución VDSL2, con la que se consiguen velocidades de hasta 100 Mbps tanto en sentido descendente como ascendente.

El objetivo de este proyecto es el estudio de la tecnología *bonding*, que permite usar múltiples pares juntos en un único acceso, consiguiendo de esta forma un ancho de banda mayor de una forma dinámica y flexible.

2. EL BUCLE DE ABONADO Y LAS TECNOLOGÍAS DSL

2.1. *Introducción*

De los diferentes medios de transmisión que existen, el más antiguo y abundante es el par de hilo de cobre.

La red telefónica conmutada, RTC,, se diseñó para permitir las conexiones de voz y el bucle de abonado, formado por pares de hilo de cobre, proporciona el medio físico de acceso a la red, uniendo el teléfono de una casa con la central telefónica.

Aunque se diseñó para soportar señales vocales, que necesitan un ancho de banda pequeño, entre 300 Hz y 3400 Hz, en la actualidad han evolucionado permitiendo ofrecer sobre ellos servicios de banda ancha de alta velocidad.

Las tecnologías xDSL utilizan el par de cobre trenzado, *twisted copper pair* en inglés, de una distancia máxima determinada que varía en función de la tecnología usada (HDSL, ADSL, VDSL, etc).

Desde el punto de vista técnico, el bucle de abonado puede considerarse una tecnología obsoleta, pero no se considera como tal debido al número de ellos que existen en el mundo.

En España hay unos 18 millones de bucles de abonado con par de hilo de cobre, que forman la Red Telefónica Pública Conmutada, RTPC.

2.2. *Características del bucle*

El par de cobre es un medio de transmisión de los llamados guiados, donde las ondas electromagnéticas van encaminadas por el medio físico. Es full-dúplex, consiste en dos hilos de conductores de cobre, aislados con material plástico, y se emplea tanto

para la transmisión como para la recepción. Los estándares en España son de 0,5 o 0,4 mm cada uno.

Para minimizar las posibles interferencias electromagnéticas y la diafonía entre pares, los hilos, en lugar de ir paralelos, van trenzados. Esto no es así en el interior de las casas, donde los pares van paralelos, ya que la pequeña distancia que tiene que recorrer unido a que no hay posibilidad de cruzarse con otro circuito, minimizan la posibilidad de interferencias.

Además de esto, a lo largo del camino hasta la central se van cambiando de orden, técnica llamada transposición, para que la inducción que pueda haber no se dé siempre sobre el mismo par. Varios pares se van uniendo en grupos de cables más gruesos, formando cables mayores, a lo que se denomina mazos de cables.

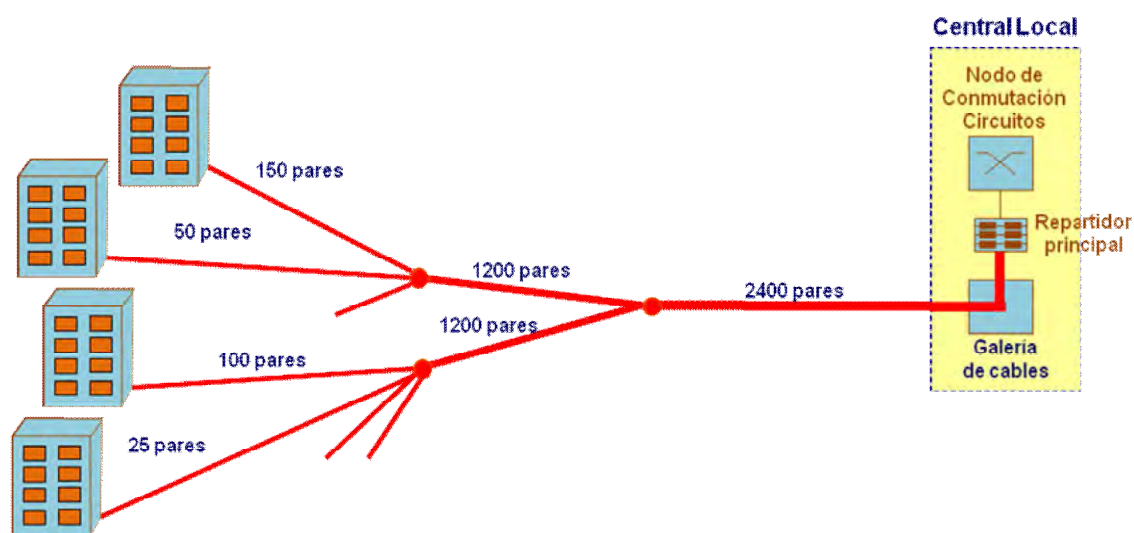


Fig. 2.1 Red de acceso con pares de cobre.

Los cables de pares llevan conductores de cobre, con una cubierta constituida por una cinta de aluminio y una funda exterior de polietileno que actúa como aislante, llevando en algunos casos una cinta de acero como refuerzo. Estos cables de pares se construyen reuniendo los conductores de cobre, convenientemente aislados, en pares que a su vez son torsionados con 25 pasos diferentes a fin de reducir los desequilibrios de capacidad que dan lugar a diafonía entre pares. Los cables con un máximo de 25

pares, se cablean en capas concéntricas, y si se requieren más de 25 pares, se agrupan en unidades de 25 pares hasta conseguir la cantidad necesaria.

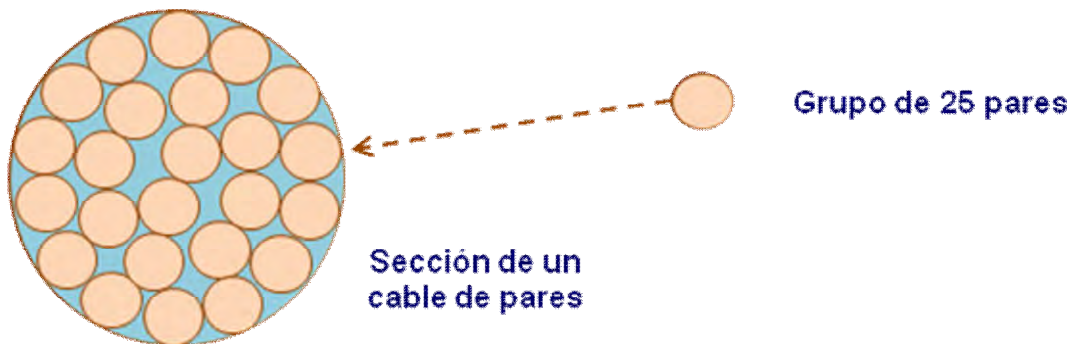


Fig. 2.2 Cable de pares

Los colores de los aislantes siguen un estándar, y se trenzan según estos colores para formar los cables de pares.

Existen varios tipos de cables:

- Par trenzado apantallado (*Shielded Twisted Pair*): Este tipo de cables están dotados de una mayor protección ante interferencias y ruido eléctrico al estar cada par recubierto con una malla protectora diseñada para reducir la absorción del ruido eléctrico. Su impedancia es de 150 Ohmios. Es un cable con un coste elevado y difícil de manipular debido a su rigidez. Se emplea en redes Ethernet.
- Par trenzado sin apantallar (*Unshielded Twisted Pair*): Su coste es más bajo que los apantallados pero también se producen más errores. Su impedancia es de 100 Ohmios. Este tipo de cables está a su vez clasificado.
 - Categoría 1: Este tipo de cable fue diseñado para su uso en comunicaciones telefónicas.
 - Categoría 2: Este tipo de cable también es empleado principalmente en comunicaciones telefónicas. La diferencia con el de categoría 1 es, básicamente, la velocidad soportada, éste es capaz de transmitir datos a una velocidad de hasta 4 Mbps.Ambos tipos de cable no son adecuados para instalaciones modernas.
- Categoría 3: Este cable de par trenzado fue diseñado para transportar datos a una velocidad de hasta 10 Mbps de forma fiable.

Actualmente, la mayoría de este tipo de cable ha sido sustituido por cables de categoría 5 o 6.

- Categoría 4: Cable diseñado para redes de topología en anillo como las redes [10BASE-T](#) y [100BASE-T4](#). Actualmente ha caído en desuso.

- Categoría 5: Este tipo de cable se utiliza en redes de Ethernet principalmente, aunque también se utiliza para transportar otras señales como servicio telefónico y ATM. Puede transmitir datos de hasta 100 Mbps. Está compuesto de cuatro pares trenzados y un aislamiento de polietileno de alta densidad, y una cubierta de PVC.

- Categoría 5e: Es una mejora del cable de categoría 5 que minimiza la atenuación y las interferencias.

- Categoría 6: Es un estándar de cables diseñado principalmente para redes Gigabit Ethernet.

- A parte de estas hay otras categorías en desarrollo.

CATEGORIA	ANCHO DE BANDA	VELOCIDAD	APLICACIONES
1		Hasta 100 Kbps	Comunicaciones telefónicas
2		Hasta 4 Mbps	Comunicaciones telefónicas
3	16 MHz	Hasta 16 Mbps	Transmisión de datos
4	20 MHz	Hasta 20 Mbps	Redes 10BASE-T y 100BASE-T
5	100 MHz	Hasta 100 Mbps	Redes FastEthernet
6	250 MHz	Hasta 1 Gbps	Redes GigabitEthernet

Tabla. 2.1 Categorías cable de pares

- Par trenzado con blindaje gomal (*Foiled Twisted Pair*): Estos cables de pares tienen una pantalla conductora global en forma trenzada mejorando la protección frente a interferencias. Su impedancia es de 120 Ohmios.

En la central telefónica urbana, las bobinas híbridas se encargan de adaptar el circuito de dos hilos del bucle de abonado al circuito urbano formado por cuatro hilos.

Debido a las diferencias de longitud entre cada bucle de abonado, se producen desacoplamientos que hacen que parte de la señal transmitida en el extremo receptor se induzca en el circuito contrario, resultando una señal que se mezcla con la generada en dicho extremo, y que es captada como un eco.

Actualmente se utilizan canceladores de eco, que introducen filtros adaptativos que eliminan toda señal de retorno que tenga parecido con la emitida.

La planta instalada de par de cobre presenta ciertos inconvenientes como pueden ser los siguientes:

- **Ramas laterales.** Las ramas laterales son consecuencia de la reutilización de los mismos pares para diferentes usuarios. Al producirse altas y bajas de usuarios de las compañías telefónicas sobre el mismo par, quedan ramas. Estas ramas laterales solo afectan a servicios de datos, transportados por señales de alta frecuencia. El servicio de voz no se ve afectado por estas ramas.
- **Bobinas.** El par trenzado, por su disposición física, presenta un carácter intrínsecamente capacitivo. Este efecto se compensa en parte por el trenzado. No obstante, cuando las distancias son grandes, este carácter capacitivo se impone, resultando en una degradación de las frecuencias altas en la banda vocal. En estos casos se instala una bobina que compensa el efecto capacitivo. Esto resulta en un aplanamiento del espectro en la banda vocal, pero a la vez aparece una frecuencia de corte poco más allá de la frecuencia vocal por lo que no se pueden transmitir señales DSL. En España y en zonas urbanas no aparecen estas bobinas.
- **Es susceptible de accesos e incidencias no deseadas, debido a su instalación por calles y patios.**

2.3. Atenuación

Cuando una señal sufre una pérdida de potencia al transitar por un medio de transmisión decimos que ha sufrido una atenuación.

La atenuación es la diferencia entre la potencia de la señal transmitida y la potencia de la señal recibida en el otro extremo, expresada en decibelios.

La atenuación es uno de los factores más importantes a la hora de determinar la distancia a la cual podemos hacer llegar una señal, y crece con la longitud del cable y la frecuencia.

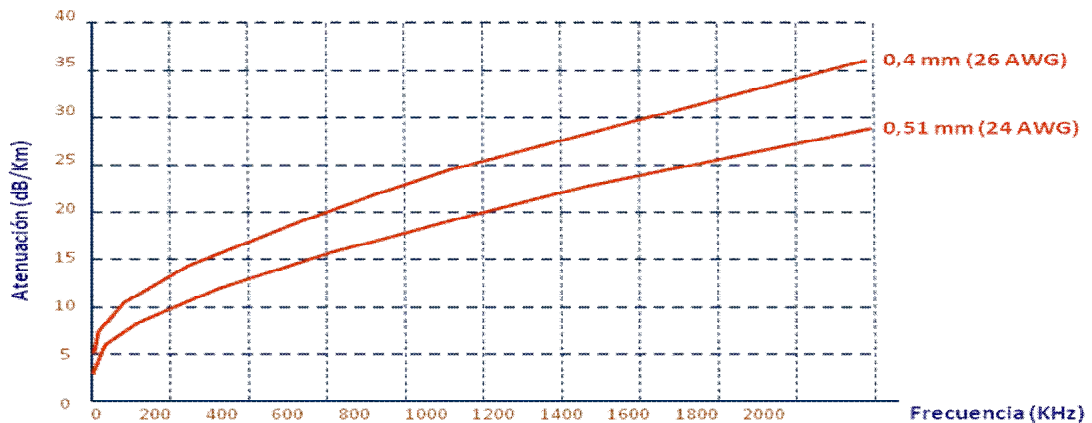


Fig. 2.3 Variación de la atenuación en función de la frecuencia

2.3.1. Efecto pelicular (Skin effect)

En los pares trenzados aparece el efecto pelicular, o *skin effect*, por el cual se observa, para corrientes de alta frecuencia, mayor densidad de corriente en la superficie del conductor. Al disminuir la superficie a través de la que fluye, resulta en un aumento de la atenuación a altas frecuencias.

El efecto pelicular se debe a que la variación del campo magnético es mayor en el centro del conductor, lo que da lugar a una reactancia inductiva mayor, y por ello, una intensidad menor.

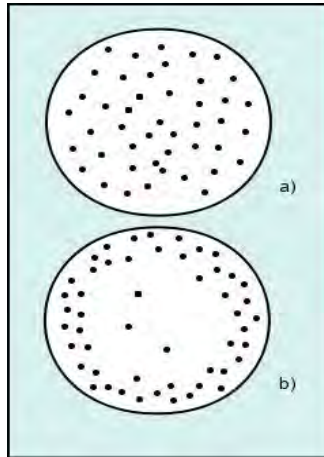


Fig. 2.4 Distribución de la densidad de corriente en un conductor.

En la primera imagen a) se muestra la distribución de la densidad de corriente en un conductor cuando es recorrido por una corriente continua.

En la segunda imagen b) se muestra la distribución de la densidad de corriente en un conductor cuando es recorrido por una corriente alterna.

2.4. Ruido

Podemos definir el ruido como una forma no deseada de energía que tiende a dificultar la emisión y recepción de señales deseadas.

El ruido siempre está presente en los sistemas electrónicos, influyendo en el rendimiento.

Los sistemas de transmisión basados en cobre deben salvar una serie de obstáculos debidos a factores tanto intrínsecos como extrínsecos.

Los factores intrínsecos son aquellos relacionados con las características del propio medio de transmisión, como el ruido térmico, el eco, las reflexiones y las interferencias cruzadas.

Los factores extrínsecos son los debidos a causas externas al sistema, como el ruido impulsivo o las interferencias de otros sistemas.

En cuanto a la clasificación de las fuentes de ruido podemos clasificarlas en dos, las limitantes de la capacidad como el ruido térmico y las interferencias cruzadas y que al caracterizarse por niveles predecibles permiten tomar medidas para contrarrestar sus efectos, y las fuentes de ruido que causan limitación de las prestaciones, que son variables e impredecibles. Las medidas utilizadas para contrarrestar los efectos del ruido producido por estas últimas suelen consistir en dejar márgenes de seguridad e introducir un procesamiento adicional de la señal.

2.4.1. Ruido blanco

Uno de los tipos de ruido más importantes es el denominado ruido térmico, presente en todo circuito afectando a la señal transmitida. Este ruido está provocado por el movimiento aleatorio de los electrones en un conductor. Su densidad espectral de potencia es constante, es una señal que contiene que contienen todas las frecuencias y todas con la misma potencia.

La señal no está limitada en banda y, teóricamente, su potencia es infinita. En la práctica se considera ruido blanco si su densidad espectral de potencia es constante en la banda de frecuencias de interés.

Para los sistemas DSL, puede modelarse con un nivel de potencia de -140 dBm/Hz.

2.4.2. Diafonía o *Crosstalk*

Normalmente, hay al menos dos pares en un cable de par trenzado o en la instalación telefónica de un edificio. El *crosstalk* o diafonía se presenta generalmente debido a acoplamientos magnéticos entre pares o como consecuencia de desequilibrios de admitancia entre los hilos de ambos circuitos, que provocan la captación de señales de producidas por pares adyacentes.

Para sistemas de banda ancha, donde se usan frecuencias por encima de las frecuencias de voz, estas interferencias son el factor limitante de la capacidad más importante a tener en cuenta.

Las interferencias por paradiafonía o diafonía de extremo cercano, denominada *Near end crosstalk* o NEXT se dan entre transmisores que transmiten y reciben señales en el mismo extremo del cable de pares y que comparten la misma banda de frecuencias. Su nivel es independiente de la longitud del cable.

Las interferencias por telediafonía o diafonía de extremo lejano, denominada *Far end crosstalk* o FEXT se dan entre transmisores transmitiendo desde extremos opuestos del mismo cable de pares y compartiendo la misma banda de frecuencias. Su nivel depende de la distancia, al sufrir la misma atenuación que la señal.

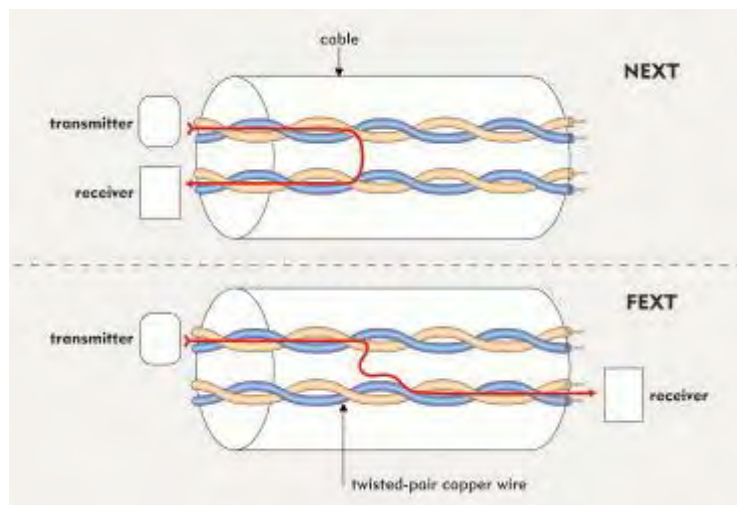


Fig. 2.5 Tipos de diafonía

NEXT afecta a sistemas que transmiten simultáneamente en ambos sentidos y en principio puede eliminarse separando ambos sentidos de la comunicación en canales diferentes, convirtiendo una transmisión dúplex en dos transmisiones simples.

Los efectos NEXT predominan sobre FEXT hasta a partir de cierta frecuencia, donde empieza a predominar FEXT sobre NEXT.

2.4.3. Interferencia electromagnética o RFI

Los pares trenzados son usados para llevar señales desde un extremo a otro. Parte de la energía de esta señal se pierde durante la transmisión convirtiéndose en calor y ondas electromagnéticas. A altas frecuencias, la pérdida de señal y el nivel de radiación puede afectar a otros sistemas de transmisión vía radio, que usen la misma banda de frecuencias, de forma significativa.

La interferencia electromagnética causada por los pares de cobre puede considerarse una extensión de la diafonía o *crosstalk*. El *crosstalk* es también una interferencia electromagnética entre pares adyacentes de un mismo cable de pares. Las mismas ondas electromagnéticas que causan el *crosstalk*, pueden propagarse a través del aire.

El mismo mecanismo causa que un par trenzado capte señales interferentes de un campo creado por otro sistema de transmisión por radio.

De esta forma, en la transmisión de señales, el cable de pares tiene que hacer frente a los problemas derivados de las interferencias tanto transmitidas como las captadas de otros sistemas.

La tecnología VDSL, al trabajar en frecuencias más altas, es más susceptible a las interferencias procedentes de otros sistemas que otras como el ADSL.

2.4.4. Ruido impulsivo

El ruido impulsivo se caracteriza por ser de intensidad y duración variables. Son ráfagas procedentes de diversas fuentes, como pueden ser transformadores o electrodomésticos, y su naturaleza aleatoria hace difícil proveer mecanismos para hacerle frente.

2.5. Acceso al bucle. Liberalización del mercado.

2.5.1. Proceso de liberalización

Durante casi un siglo, en la mayoría de los países, las telecomunicaciones han estado dominadas por un único operador, público o privado. Históricamente se han considerado una pieza clave para la seguridad nacional, por lo que su desarrollo ha estado marcado por los intereses nacionales y de servicio público.

Esto se mantuvo así hasta la década de los 80, cuando se comenzó un proceso de liberalización impulsado por la globalización de los mercados, los avances tecnológicos y las exigencias de los usuarios.

En la Unión Europea, este proceso se realizó en varias fases, marcadas por el siguiente calendario.

Liberalización de Servicios	Liberalización de Infraestructuras
	1988 Liberalización de los Terminales
1991 Servicios de Valor Añadido (SVA) Telefonía para Grupos Cerrados de Usuarios (GCU) y Redes Corporativas	
1993 Servicios de Datos	
1995 Comunicaciones por Satélite	
1996 Comunicaciones Móviles	1996 Utilización de la TV por cable y de las infraestructuras alternativas para dar servicios de Telecomunicaciones liberalizados
1998 Directiva sobre Numeración (preselección de operador y portabilidad de números)	1998 Todas las Infraestructuras de Telecomunicaciones
2000 Acceso desagregado al Bucle de Abonado	

Tabla. 2.2 Proceso de liberalización del mercado

En España el proceso de liberalización se realizó de acuerdo a las pautas marcadas por las directivas comunitarias, permitiendo la entrada al mercado de nuevos

competidores, incrementando de esta forma la oferta de servicios y reduciendo los precios.

Los primeros pasos de este proceso se dieron bajo el marco de la Ley de Ordenación de las Telecomunicaciones, LOT, hasta abril de 1998, cuando el Parlamento aprobó la Ley General de las Telecomunicaciones, LGT, que pretende favorecer la libre competencia en este mercado, así como garantizar el contenido de servicio público.

Esta Ley fue modificada en 2003, actualmente en vigor.

En España en nuestros días, se puede hablar de una liberalización plena.

El organismo regulador independiente para el mercado de las telecomunicaciones en nuestro país es la Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones (CMT), creado en 1996. Es una entidad de derecho público, con las siguientes funciones relacionadas, principalmente, con la mediación entre operadoras y vigilancia de la libre competencia, y la gestión y explotación correcta de los recursos.

2.5.2. OBA

En la Unión Europea los operadores que hayan sido clasificados por la Autoridad Nacional de Regulación respectiva, en el caso de España la CMT, que tienen peso significativo en el mercado están sujetos a determinadas obligaciones para facilitar la competencia. Una de estas obligaciones es ofrecer acceso a los bucles de abonado, lo que se formaliza mediante una oferta pública regulada, la Oferta del Bucle de Abonado (OBA).

La OBA es el texto de referencia que pueden utilizar los distintos operadores de comunicaciones fijas para utilizar el bucle de abonado, propiedad de aquellos operadores obligados, en el caso de España Telefónica.

La OBA describe dos tipos de servicios, acceso desagregado y acceso indirecto, los cuales tienen unos costes de alquiler y mantenimiento regulados por este texto. Existen

unos acuerdos de servicio entre la principal operadora (Telefónica) y el resto de operadores que deben cumplir con el objetivo de dar un buen servicio al cliente final.

En España la OBA regula las negociaciones entre Telefónica de España y los operadores autorizados para conseguir acceso al bucle de abonado. Estas negociaciones quedan reflejadas en un acuerdo de interconexión específico para la OBA, diferente del Acuerdo General de Interconexión, que incluye las condiciones técnicas y económicas para la prestación de servicios de acceso al bucle.

El acceso desagregado implica que el operador alternativo alquila los pares de cobre de Telefónica, para lo cual tiene que conectarse a la central de Telefónica en la que vaya a tener clientes. Para esto, el operador alternativo debe disponer de un espacio en la central, lo que se conoce como servicio de coubicación.

Telefónica ofrece servicio de coubicación en sus principales centrales, cubriendo el 70% de las líneas de su propiedad. En el resto de centrales ofrece soluciones alternativas a la coubicación.

El acceso desagregado puede ser:

- a) completamente desagregado donde el operador alternativo tiene pleno control del par de cobre para ofrecer todos los servicios de voz y datos,
- b) desagregado compartido donde el operador alternativo solo tiene el control de las frecuencias superiores a la banda vocal para ofrecer el servicio ADSL y es Telefónica quien ofrece el servicio telefónico,
- c) acceso compartido sin servicio de telefonía básica (STB), Naced ADSL en la que el operador alternativo dispone solo de las frecuencias superiores a la banda vocal donde ofrece sus servicios de voz y datos mientras Telefónica no ofrece ningún servicio.

Los servicios de acceso indirecto al bucle son GigADSL y ADSL-IP. El tráfico procedente de los usuarios finales pertenecientes a diferentes centrales telefónicas de una misma demarcación se transporta hasta el Punto de Acceso Indirecto, PAI en GigaDSL y PAI-IP en ADSL-IP, de dicha demarcación. Cada uno de los operadores presentes en esa demarcación solicita al menos un puerto del Punto de Acceso Indirecto,

pPAI en GigADLS y pPAI-IP en ADSL-IP, por lo que el tráfico de los usuarios pertenecientes a un operador se concentra en sobre el pPAI seleccionado.

Los costes asociados a cada uno de los servicios se encuentran publicados en la OBA

2.6. Resumen

En España existe una planta instalada de par de cobre, que todavía es posible seguir explotando, en paralelo a los despliegues que las operadoras ya están realizando para poder ofrecer servicios de más alta velocidad.

El bucle de abonado presenta ventajas, la mayor es su amplio alcance, e inconvenientes, como la degradación del servicio a partir de una cierta distancia o la mala calidad de los pares de cobre que en ocasiones pueden llegar a impedir el funcionamiento correcto del servicio.

La liberalización del mercado a partir de la década de los 80, supuso un avance en las tecnologías usadas para la explotación del bucle de abonado, pasando de dar un servicio en la práctica casi puramente telefónico, a ofrecer servicios de transmisión de datos a alta velocidad. Las más extendidas son las llamadas tecnologías xDSL, que permiten la utilización del par de cobre, salvando cada vez en mayor medida sus inconvenientes, para dar velocidades de acceso adecuadas a la demanda de los usuarios finales.

3. Tecnologías XDSL

3.1. Introducción

La normalización se hace indispensable en el momento en que los módems del mismo tipo de distintos fabricantes deben ser capaces de establecer conexiones entre ellos.

Es necesario un acuerdo previo sobre el comportamiento de los módems en ambos extremos de la línea telefónica de forma que sean capaces de intercambiar información que permitan la comunicación.

Para establecer la conexión es necesario el intercambio de información acerca del tipo de información que viajara, y en qué forma lo hará. Una vez establecida la conexión también es posible que ambos extremos necesiten comunicarse ciertos cambios en las condiciones físicas de la línea.

La definición de los protocolos y las señales que viajen por la línea para permitir el intercambio de este tipo de información es necesaria para asegurar la interoperabilidad de los módems de cualquier fabricante, y es tarea de los distintos grupos de normalización.

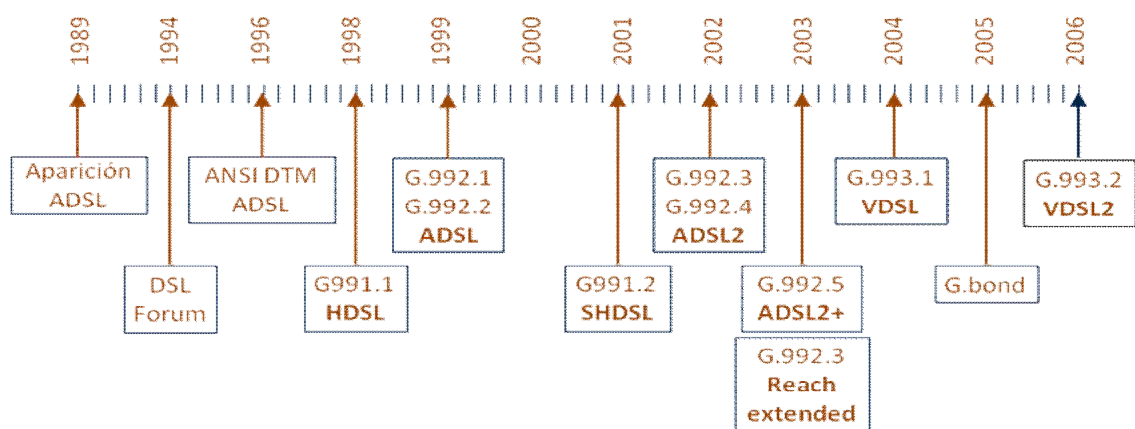


Fig. 3.1 Normalización del DSL

3.2. Normalización del DSL

3.2.1. Grupos de normalización

3.2.1.1. Unión Internacional de Telecomunicaciones – ITU

El sector de Normalización de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, en inglés *International Telecommunication Union, Telecommunication Standardization Sector*, ITU, define especificaciones de uso internacional. Es un organismo de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) encargado de regular las redes de comunicaciones. Genera documentos llamados Recomendaciones para todas las áreas relacionadas con las telecomunicaciones. Un grupo de este organismo se encarga de la normalización de los sistemas DSL, generando documentaciones que pertenecen a la Serie G: Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales.

Algunas de las recomendaciones relacionadas con las tecnologías DSL de interés son las que se muestran en la siguiente tabla:

Recomendación	Titulo (Español)	Titulo (Inglés)
G.991.1	Transceptores de línea digital de abonado de alta velocidad binaria	High Bit-Rate Digital Subscriber Line (HDSL) transceivers
G.991.2	Transceptores de línea de abonado digital de alta velocidad de un solo par	Single-pair High Bit-Rate Digital Subscriber Line (SHDSL) transceivers
G.992.1	Transceptores de línea de abonado digital asimétrica	Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) transceivers
G.992.2	Transceptores de línea de abonado digital asimétrica sin divisor	Splitterless Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) transceivers
G.992.3	Transceptores de línea de abonado digital asimétrica 2	Asymmetric Digital Subscriber Line transceivers 2 (ADSL2)
G.992.4	Transceptores de línea de abonado digital asimétrica sin divisor 2	Splitterless Asymmetric Digital Subscriber Line transceivers 2 (splitterless ADSL2)

G.992.5	Transceptores para línea de abonado digital asimétrica – Línea de abonado digital asimétrica 2 de anchura de banda ampliada (ADSL2plus)	Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) transceivers–Extended bandwidth ADSL2 (ADSL2plus)
G.993.1	Transceptores de línea de abonado digital de velocidad muy alta	Very High Bit-Rate Digital Subscriber Line transceivers
G.993.2	Transceptores de línea de abonado digital de velocidad muy alta 2	Very High Bit-Rate Digital Subscriber Line transceivers 2 (VDSL2)
G.994.1	Procedimientos de toma de contacto para transceptores de línea de abonado digital	Handshake procedures for Digital Subscriber Line (DSL) transceivers
G.995.1	Visión de conjunto de las Recomendaciones sobre líneas de abonado digitales	Overview of Digital Subscriber Line (DSL) Recommendations
G.996.1	Procedimientos de prueba para transceptores de líneas de abonado digitales	Test procedures for Digital Subscriber Line (DSL) transceivers
G.997.1	Gestión de capa física para transceptores de línea de abonado digital	Physical layer management for Digital Subscriber Line (DSL) transceivers
G.998.1	Vinculación multipar basada en el modo de transferencia asíncrono	ATM-based multi-pair bonding
G.998.2	Agrupación de múltiples pares Ethernet	Ethernet-based multi-pair bonding
G.998.3	Agrupación multipar mediante multiplexación inversa por división en el tiempo	Multi-pair bonding using time-division inverse multiplexing

Tabla 3.1 Recomendaciones ITU-T sobre DSL

Algunas estas normas se comentarán en capítulos posteriores.

3.2.1.2. Instituto Nacional Estadounidense de Normalización – ANSI

La organización ATIS, *Alliance for Telecommunications Industry Solutions*, autorizada por el Instituto Nacional Estadounidense de Normalización, en inglés *American National Standards Institute* (ANSI), desarrolla especificaciones para su uso en Estados Unidos.

3.2.1.3. Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones – ETSI

El Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones, en inglés *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI), es el encargado de la normalización de las telecomunicaciones en Europa.

3.2.1.4. DSL Forum

El DSL Forum no es una organización acreditada para el desarrollo de estándares, pero es un foro internacional en el que colaboran cientos de compañías. Genera informes técnicos para hacer posible el desarrollo y pruebas de sistemas DSL. Aunque los documentos generados por el DSL Forum no son estándares, su cumplimiento suele ser requerido por muchos de los proveedores de servicio.

3.2.1.5. Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos – IEEE

El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, en inglés *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE), es una asociación profesional mundial dedicada a la normalización. Aunque no es un organismo dedicado a la normalización de DSL el trabajo que desarrolla es muy relevante para esta industria.

Uno de los grupos de trabajo del IEEE, el 802.3 es el responsable de la normalización del Ethernet y en 2003 completo el estándar EFM (*Ethernet in the First Mile*) cuyo objetivo era transportar paquetes Ethernet por la red de acceso telefónico.

3.3. xDSL

3.3.1. Capacidad máxima del canal: Teorema de Shannon – Hartley

En los servicios de telecomunicación en los que la señal es digital, la velocidad de transmisión que se puede alcanzar sobre un determinado circuito se define como el número máximo de bits que se transmiten por segundo (bit/s) y su límite viene dado por el ancho de banda de dicho circuito, así como por la relación señal/ruido que presente.

Según el teorema postulado por el científico Shannon en los años 40, la capacidad de un sistema afectado por ruido blanco es función de la relación entre el nivel de la señal útil y del ruido presente en la línea y del ancho de banda del canal.

$$C = B \log_2 (1 + S/N)$$

Dónde:

C representa la capacidad de transferencia máxima del canal expresada en bit/s

B representa el ancho del canal en Hz

S/N (*Signal/Noise*) es la relación entre el nivel de la señal útil y del ruido presente en la línea.

Teóricamente es posible transmitir información por un canal a cualquier velocidad siempre que esta sea menor que la capacidad C con una probabilidad de error arbitrariamente pequeña usando un esquema de codificación suficientemente complicado. Para una velocidad superior a la capacidad C no es posible encontrar un esquema de codificación que conduzca a una probabilidad de error arbitrariamente pequeña.

Shannon uso esta ecuación para mostrar gráficamente la eficiencia de los sistemas.

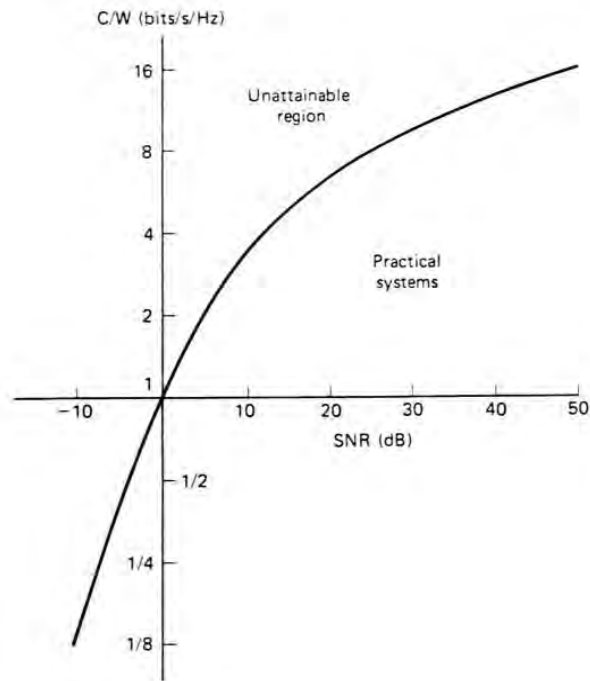


Fig. 3.2 Capacidad del canal normalizada versus SNR del canal (el ancho de banda se indica con W en lugar de hacerlo con B).

Esta curva se muestra la capacidad de canal normalizada C/B en bits/s/Hz como una función de la relación señal a ruido SNR del canal.

La potencia de ruido detectada es proporcional al ancho de banda, por lo que podemos decir que:

$$N = N_0 * B$$

Sustituyendo en la ecuación anterior:

$$C = B \log_2 (1 + S / (N_0 * B))$$

Si suponemos un ancho de banda disponible infinito, analizando la primera ecuación podríamos suponer que la capacidad del canal también crece sin límite, ya que el ancho de banda aparece multiplicando la función logarítmica.

Sin embargo, al tener en cuenta que el nivel de ruido detectado es directamente proporcional al ancho de banda y sustituyendo en la ecuación, observamos que el ancho

de banda aparece como denominador dentro de la función logarítmica, por lo que si tiende a infinito, la función logarítmica tiende a cero.

Es decir, el aumento del ancho de banda implica mayor tasa de transmisión por un lado pero a la vez mayor potencia de ruido, reduciendo la relación señal a ruido y en consecuencia también la tasa de transmisión.

Shannon demostró que la tasa de transmisión no puede crecer sin límite a medida que el ancho de banda crece sin límite, estableciendo un valor mínimo de relación señal a ruido (límite de Shannon) por debajo del cual no es posible llevar a cabo comunicaciones libres de error de bit.

Como el SNR no puede reducirse infinitamente, la tasa de transmisión tampoco puede crecer sin límite con el ancho de banda, sino que llega hasta un valor para el cual se alcanza el límite de Shannon a partir del cual R no puede aumentar más.

3.3.2. Modulación de la señal en xDSL

Las técnicas de modulación usadas para xDSL son 2B1Q, *2Bit 1 Quaternary*, CAP, *Carrierless Amplitude Phase Modulation*, y DMT, *Discrete Multitone Modulation*, aunque es la técnica DMT, estandarizada por ANSI, ETSI y la UIT la que domina actualmente.

En la modulación 2B1Q una secuencia de dos bits se transmite como un pulso de cuatro niveles. Es un tipo de codificación de línea donde pares de bits son codificados de uno a cuatro niveles.

Es utilizada en las tecnologías HDSL y SDSL.

La modulación CAP es propiedad de Globespan Semiconductor y está relacionada con QAM, tratándose en ocasiones como si fueran virtualmente lo mismo.

La diferencia está en que QAM necesita una señal de entrada que tenga la misma relación entre espectro y fase que la señal transmitida, y para el su uso en xDSL

necesitaría incluir ecualizadores adaptativos. CAP divide la señal modulada en segmentos que después almacena en memoria. La señal portadora se suprime, ya que no aporta información. La onda transmitida es la generada al pasar cada uno de estos segmentos por dos filtros digitales transversales con igual amplitud pero con una diferencia de fase de $\pi/2$. En recepción se reensamblan los segmentos y la portadora, volviendo a obtener la señal modulada. CAP es la implementación digital de QAM.

La modulación DMT es un método basado en el uso de múltiples portadoras. El rango de frecuencias usadas es dividido en bandas de frecuencias o canales, separadas entre sí 4,3125 KHz. Cada portadora ocupa 4 KHz. Dividiendo el espectro de frecuencias en múltiples canales DMT se consigue un mejor funcionamiento ante las presencia de fuentes interferentes, el reparto del flujo de datos se hace en función de la relación señal a ruido estimada en cada una de las portadoras.

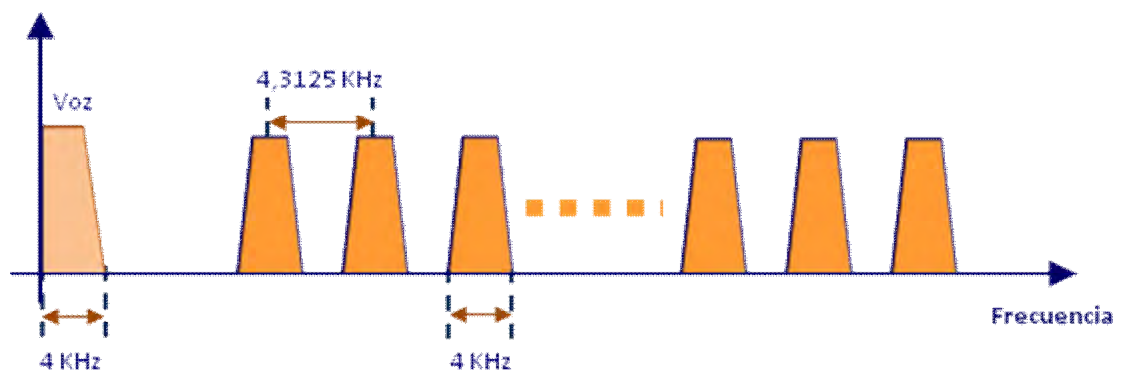


Fig .3.3 Distribución de portadoras en DMT

DMT presenta algunas ventajas sobre CAP derivadas del uso de múltiples portadoras. Cada uno de los canales se modula en amplitud y fase, adaptando la tasa de bit en cada uno de ellos a su capacidad real. DMT realiza un chequeo constante sobre cada portadora, lo que permite ajustar la tasa de bit a ganancias diferentes según la frecuencia, incluso eliminando portadoras afectadas por el ruido. De esta forma los sistemas DMT son capaces de aproximarse más al límite teórico del canal, proporcionando más velocidad y mayor alcance.

3.3.3. Tecnologías xDSL

La Red Telefónica Pública Conmutada, RTPC, fue concebida para el transporte de señales de voz y es adecuada para el transporte de señales analógicas dentro de la banda de frecuencias comprendida entre 300 y 3400 Hz. Fue después, con la aparición de las comunicaciones de datos cuando se planteó la necesidad de enviar este tipo de tráfico sobre la red telefónica para lo que había que adaptar las líneas para la prestación de servicios de banda ancha. De esta forma apareció un nuevo elemento, el módem, que se encarga de adaptar el formato de las señales digitales de datos para que se puedan transportar por la red telefónica sin pérdida de sus propiedades.

Esta solución presenta principalmente dos ventajas:

- a) Una es que, una vez modulada la señal, esta se transporta sin alteraciones del mismo modo que con las comunicaciones de voz.
- b) La segunda es la ubicuidad de la red telefónica.

Es por esta razón que, aunque el bucle de abonado a priori tiene serias limitaciones para soportar servicios que requieran un gran ancho de banda, mediante la instalación de módems en ambos extremos del canal de comunicación, las tecnologías DSL permiten multiplicar la capacidad de la línea.

El principal inconveniente es que la velocidad de transmisión depende en gran medida de la atenuación presente en la línea, derivada principalmente de la longitud de la misma, es decir, de la distancia entre ambos módems que es la distancia desde el usuario hasta la central telefónica. De esta forma, a mayor distancia, menor es el caudal soportado por el sistema.

Para trabajar con xDSL, en la central de telefonía local tiene que haber instalado un servidor DSLAM que traduce las señales DSL. La señal se transmite desde casa del usuario por la línea telefónica hasta el DSLAM.

xDSL comparte el par de cobre con el servicio telefónico tradicional POTS (*Plain Old Telephone Service*), por lo que utiliza las frecuencias por encima del ancho de banda telefónico, que va de 300 Hz a 3400 Hz.

El envío y recepción de datos, en casa del cliente, se realiza a través de un módem.

Para separar las señales de voz y datos, que viajan por la misma línea, se usan divisores o *splitters*, elementos que se colocan delante del módem del usuario y del DSLAM y que están formados por dos filtros, uno paso bajo para las señales de voz, que residen en la banda base, por debajo de los 4 KHz, y otro paso alto para los datos que residen en frecuencias más altas.

Actualmente, para facilitar la instalación, en el lado del usuario únicamente se colocan microfiltros (filtros paso bajo) en los teléfonos, ya que el modem ADSL del usuario lleva el filtro paso alto incorporado

De esta forma, los proveedores de servicio pueden proporcionar velocidades de datos de varios Mbps dejando intactos los servicios de voz que viajan por la misma línea.

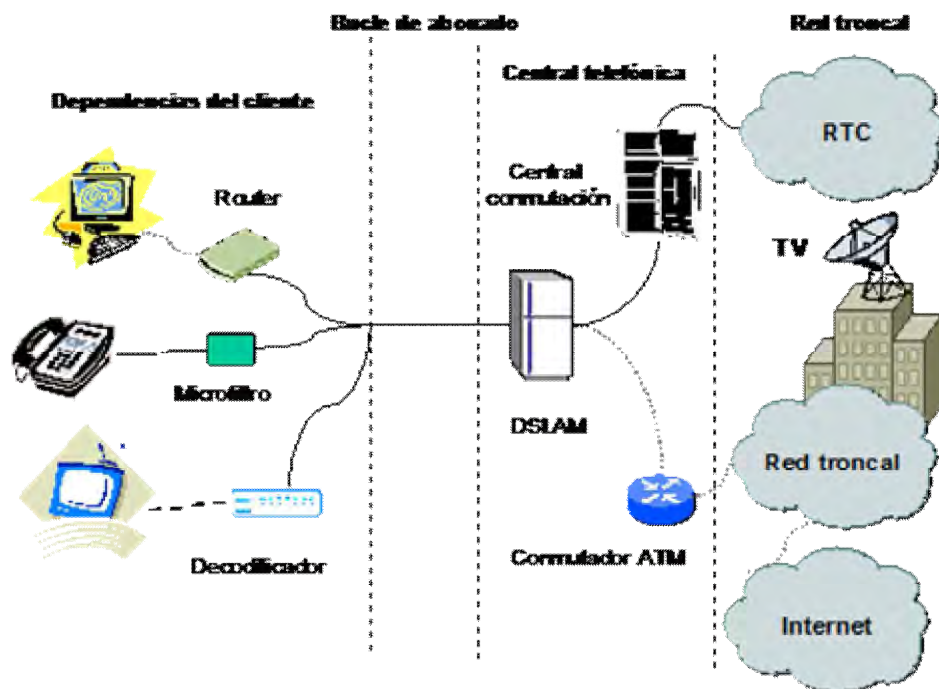


Fig. 3.4 Arquitectura de una red xDSL

3.3.3.1. Línea de abonado digital de alta velocidad (HDSL)

Esta tecnología, *High Data Rate Digital Subscriber Line*, es una mejora de las normas T1, en Estados Unidos y Japón que siguen la normativa ANSI, y E1 en prácticamente el resto del mundo donde se sigue la normativa ETSI.

Estos enlaces alcanzaban velocidades de 1,544 Mbps en el caso de los T1 y 2,048 Mbps en el caso de los E1.

Los enlaces de este tipo para servicios de uso residencial presentaban una serie de inconvenientes, entre los que estaba la necesidad del uso de repetidores, que se colocaban cada kilómetro aproximadamente, lo que hacía que estas líneas resultaran demasiado caras.

Los problemas forzaron la eliminación del uso de repetidores, y fue así como, a mediados de los años 80 se desarrolló HDSL.

Alcanza hasta 2,048 Mbps en ambos sentidos en una distancia máxima hasta 5 Km dependiendo del estado de los pares.

Usa dos pares de cobre, uno para cada sentido de la comunicación y utiliza la modulación por amplitud de pulso 2B1Q en un ancho de banda comprendido entre los 80 KHz y los 240 KHz dependiendo de la técnica que se utilice.

En un sistema HDSL con enlaces T1 cada uno de los pares envía información a 784Kbps en ambos sentidos, siendo un sistema simétrico.

Originalmente, en los sistemas HDSL con enlaces E1, que reutilizaban los chipsets de 784 Kbps disponibles, necesitaban de un tercer par para alcanzar la velocidad de 2,048 Mbps. Con el tiempo se sustituyeron por sistemas de dos o cuatro hilos.

La normalización de esta tecnología tiene grandes vacíos, por lo que la interoperabilidad entre diferentes fabricantes no era posible. Esto cambio con la aparición de HDSL2.

3.3.3.2. Línea de abonado digital simétrica (SDSL)

Con esta tecnología, *Symetric Digital Subscriber Line*, que es una evolución del HDSL se consigue las mismas velocidades, también simétricas, que con HDSL, pero usando un único par de cobre. Usa el mismo código de línea, 2B1Q,

La ventaja respecto a HDSL es el uso de un único par, no superándolo ni en velocidad ni en distancia alcanzada.

3.3.3.3. Línea de abonado digital de alta velocidad simétrica (G.SHDSL)

El diseño de SHDSL, *Single-pair High-speed Digital Subscriber Line*, pretende solventar los inconvenientes que el HDSL y SDSL presentaban.

El G.SHDSL proporciona un servicio simétrico de hasta 2,3 Mbps empleando únicamente un par de abonado y ofrece la posibilidad de obtener el doble de velocidad sobre cuatro hilos en lugar de dos, usando dos pares de abonado, llegando de esta forma a velocidades de 4,624 Mbps.

Las distancias que alcanza están entre los tres y los seis kilómetros, sobre cables de 0,4 mm de sección.

De las ventajas que presenta respecto al HDSL y el SDSL, además de ofrecer mayor velocidad y mayor cobertura, es la mayor normalización, lo que permite la interoperabilidad de productos de distintos fabricantes.

Otra es que es compatible con el espectro de ADSL, por lo que ambas señales pueden coexistir en el mismo mazo de pares. No puede compartir la línea con el servicio de voz tradicional, pero permite el transporte de voz a través de VoIP o de sistemas de VoDSL.

Es una tecnología estándar y flexible que soporta el transporte de un gran número de protocolos de red.

Otra de las mejoras es el uso del código de línea TC-PAM, que ofrece un mejor rendimiento y compatibilidad espectral si lo comparamos con el código de línea 2B1Q.

3.3.3.4. Línea de abonado digital asimétrica (ADSL)

El ADSL, *Asymmetric Digital Subscriber Line*, y las posteriores versiones mejoradas, es la más extendida en el mercado residencial de todas las tecnologías DSL.

Es una tecnología asimétrica que proporciona mucho más caudal en el canal descendente, de la red hacia el usuario, que en ascendente, del usuario a la red. Esto se realiza dividiendo el ancho de banda del par de cobre en tres secciones, usando técnicas de multiplexación por división en frecuencia, una para el servicio telefónico, otra para el canal ascendente y otra para el canal descendente.

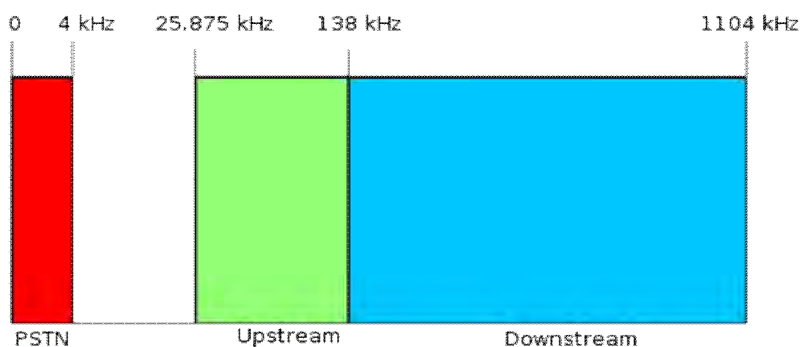


Fig. 3.5 Distribución del espectro de frecuencias en ADSL

Ofrece una capacidad hacia el usuario (*downstream*) de hasta 8 Mbps, y desde el usuario hacia la red (*upstream*) de hasta 1 Mbps, usando un solo par de cobre de hasta 4 Km.

3.3.3.5. Línea de abonado digital asimétrica (ADSL2)

Las novedades en ADSL2 respecto al ADSL están destinadas a mejorar el rendimiento y la interoperabilidad. Entre los cambios hay mejoras en la velocidad máxima que ofrece, las distancias alcanzadas, la adaptación de la velocidad y el consumo.

3.3.3.6. Línea de abonado digital asimétrica (ADSL2+)

Con ADSL2+ se dobla la velocidad que se puede alcanzar con ADSL, llegando a los 20 Mbps en bajada.

Las mejoras en la velocidad tanto del ADSL2 como del ADSL2+ se deben a la utilización de un mayor ancho de banda para la transmisión. El margen de frecuencias en el que operan los módems ADSL va desde los 25 KHz hasta 1,1 MHz, en ADSL2+ el margen superior se amplía hasta los 2,2 MHz.

3.3.3.7. Línea de abonado digital de muy alta velocidad (VDSL)

Esta tecnología, *Very High Speed Digital Subscriber Line*, transmite datos de alta velocidad sobre pares de corto alcance.

Existe tanto en versión simétrica como asimétrica, siendo las velocidades conseguidas en su versión simétrica sensiblemente menores que en la asimétrica.

Con VDSL se consigue la transmisión de datos a velocidades de hasta varias decenas de Mbps, pero a distancias de únicamente cientos de metros de la central.

3.3.3.8. Línea de abonado digital de muy alta velocidad 2 (VDSL2)

El VDSL2, *Very High Speed Digital Subscriber Line 2*, es la norma de comunicaciones DSL más reciente. Diseñado para soportar servicios con necesidad de gran ancho de banda, como aquellos que incluyen voz, datos y video, televisión de alta definición o juegos, alcanza velocidades superiores a los 100 Mbps. Permite la transmisión simétrica o asimétrica de datos.

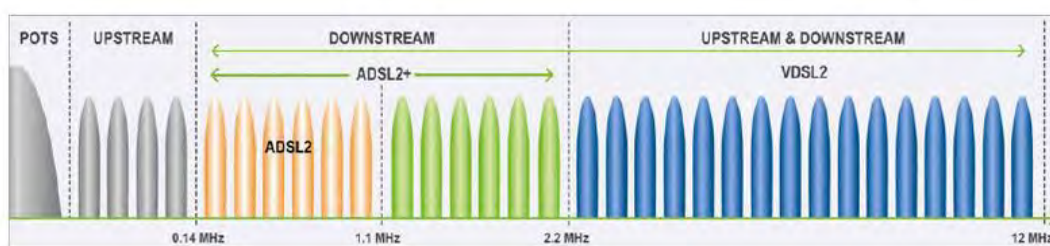


Fig. 3.6 Distribución del espectro de frecuencias en distintas tecnologías xDSL

Sistema	ITU-T Rec.	Banda Upstream	Banda Downstream	Velocidad Maxima Downstream	Velocidad Maxima Upstream	Distancia Máxima (Km)
ADSL	G.992.1 (Anexo A)	25-138 KHz	138-1104 KHz	8 Mbps	1 Mbps	4-5Km
ADSL2+	G.992.3 (Anexo A)	25-138 KHz	138-1104 KHz	12 Mbps	1 Mbps	4-5Km
ADSL2+	G.992.5 (Anexo A)	25-138 KHz	138-1104 KHz	24 Mbps	1 Mbps	4-5Km
VDSL	G.993.1	Hasta 12 MHz		23 Mbps	4 Mbps	1.5Km
				14 Mbps	14 Mbps	
VDSL2	G.993.2	Hasta 30 MHz		Hasta 100 Mbps		Depende de la velocidad requerida

Tabla 3.2 Recomendaciones ITU-T sobre xDSL asimétrico

3.4. Resumen

Antes de adentrarse en el estudio de las distintas tecnologías DSL, es necesario conocer a los organismos existentes que dedican su trabajo a la normalización de la implementación de estas tecnologías.

Existen organismos que regulan a nivel internacional, como el ITU, y otros a nivel regional, como el ETSI en Europa.

El objetivo de estas organizaciones es establecer ciertas normas, de obligado cumplimiento por parte de fabricantes y proveedores de servicio que aseguren la interoperabilidad de los elementos de la red con independencia del fabricante.

Bajo la regulación de estos organismos comenzaron a aparecer las distintas tecnologías xDSL que hoy en día se usan para el acceso a la red a través del bucle de abonado

4. Línea de Abonado Digital Asimétrica ADSL

4.1. Introducción

La necesidad de una tecnología diseñada para su uso residencial impulsó el desarrollo del ADSL. A diferencia de la tecnología HDSL, esta permite el servicio de telefonía, POTS, simultáneamente con el servicio de datos, sobre la misma línea que el DSL.

En un principio la principal motivación para el desarrollo de esta tecnología fueron las expectativas puestas por los operadores en los servicios de televisión, lo que determinó la necesidad de un mayor caudal en sentido de la red hacia el usuario, *downstream*, que del usuario hacia la red, *upstream*. Estas expectativas no se cumplieron, pero su carácter asimétrico la hace idónea para el acceso a Internet. En los accesos a Internet el volumen de datos recibidos es mucho mayor que los enviados, sobre todo al recuperar servicios multimedia, como son imágenes, video o audio.

Actualmente la tecnología ADSL, con todas sus evoluciones, es la más extendida para dar servicios de Banda Ancha a los usuarios.

El primer estándar sobre ADSL apareció en 1993 en Estados Unidos. Era el T1.413 y especificaba el funcionamiento de ADSL en la misma línea física que el servicio POTS.

ETSI desarrolló en 1998 el documento TS 101 388 (1998), el cual especificaba el funcionamiento de ADSL sobre la misma línea que el servicio RDSI.

El primer estándar internacional de la ITU-T no fue publicado hasta 1999. Fue la Recomendación de la ITU-T G.992.1, un documento cuyo cuerpo principal especificaba los principales componentes de los transceptores ADSL, y cuyos anexos especificaban los distintos modos de operación. El Anexo A describía el uso de ADSL sobre POTS, basado principalmente en T1.413, y el Anexo B el uso de ADSL sobre RDSI, basado en el estándar TS 101 388 (1998).

4.2. Tecnologías ADSL. Evoluciones.

4.2.1. ADSL (G.992.1)

La definición original de esta tecnología, contenida en el documento G.992.1 de la ITU-T ha sido ampliamente desarrollada e implantada. Proporciona velocidades de hasta 8 Mbps en sentido de la red hacia el usuario y de hasta 1 Mbps en sentido del usuario hacia la red.

4.2.1.1. Funcionamiento

- **Arquitectura**

En la siguiente figura se muestra el modelo de referencia de un sistema ADSL indicado por el ADSL-Forum:

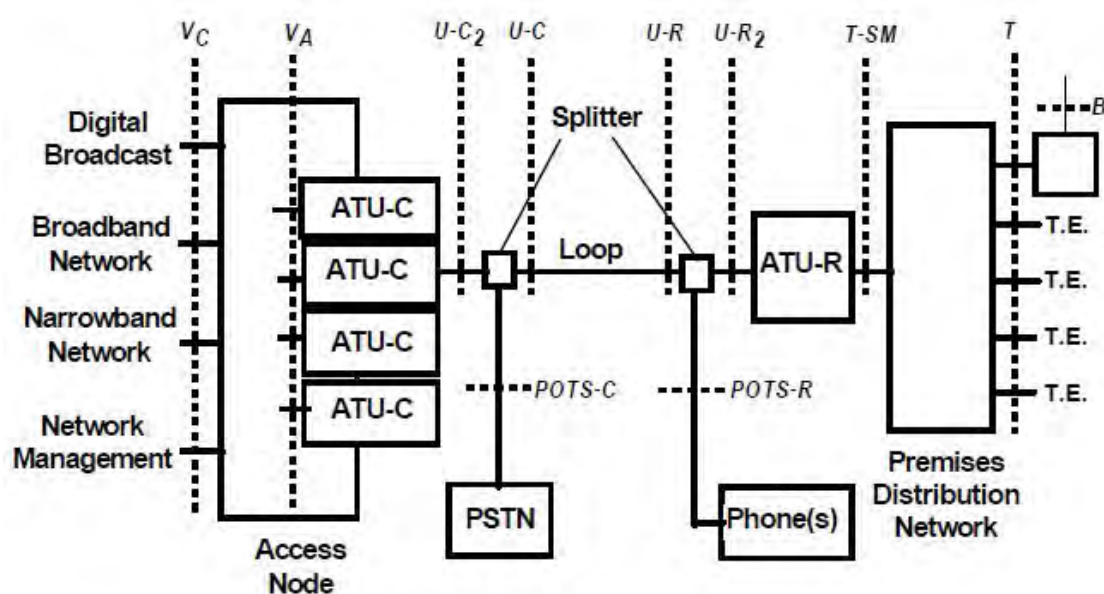


Fig. 4.1 Modelos de referencia de un sistema ADSL

A continuación se definen los distintos elementos:

- **Access Node:** Nodo de acceso, punto de concentración para datos de banda ancha (*Broadband Network*) y banda estrecha (*Narrowband Network*). El nodo de acceso puede estar ubicado en una central o en una ubicación remota.

- **Broadcast:** entrada de flujo de datos de banda ancha. Típicamente servicios de video.

- **Broadband Network:** Banda Ancha. Flujo de datos por encima de 1.5 o 2 Mbps.
- **Narrowband Network:** Banda Estrecha. Flujo de datos por debajo de 1.5 o 2 Mbps.
- **Network Management:** Gestión de Red.
- **PSTN:** *Public Switched Telephone Network*. En español Red Telefónica Pública Conmutada.
- **Splitters:** filtros que separan las altas frecuencias en las que trabaja el ADSL de las bajas frecuencias donde se encuentra el servicio POTS. Se coloca uno en la central y otro en casa del usuario.
- **Loop:** El par de cobre que forma la línea telefónica o bucle de abonado.
- **Premises Distribution Network:** Red de Distribución del Usuario.
- **ATU-C:** *ADSL Transmission Unit Central*. Es la unidad de transmisión del lado del operador. La ATU-C puede estar integrada en el Nodo de Acceso (*Access Node*)
- **ATU-R:** *ADSL Transmission Unit Remote*. Es la unidad de transmisión del lado del usuario. La ATU-C puede estar integrada en un SM (*Service Module*)
- **POTS:** *Plain Old Telephone Service*. Servicio telefónico.
 - . **POTS-C:** interfaz entre PSTN y el *splitter* en la central
 - . **POTS-R:** interfaz entre el teléfono y el filtro en el lado del cliente.
- **B:** entrada auxiliar de datos.
- **SM:** *Service Module*. Módulo de Servicios que realiza funciones de adaptación de terminales como los PC, routers de LAN, set-top-boxes...
- **T-SM:** Interfaz entre el ATU-R y la Red de Distribución del Usuario. Puede coincidir con la interfaz T. En un ATU-R puede haber más de un tipo de interfaz T-SM implementada.
- **T:** Interfaz entre el Modulo de Servicios y la Red de Distribución del cliente. Puede no existir en sistemas donde el ATU-R está integrado en el Modulo de Servicio.
- **Vc:** Interfaz entre el Nodo de Acceso y la red. Puede haber varias interfaces físicas o puede haber una única que lleve todas las señales.
- **Va:** Interfaz lógica entre el ATU-C y el Nodo de Acceso.
- **U-C:** Interfaz analógica entre el bucle de abonado y la ATU-C
- **U-C2:** Interfaz entre el splitter y el ATU-C
- **U-R:** Interfaz analógica entre el bucle de abonado y la ATU-R
- **U-R2:** Interfaz entre el splitter y el ATU-R

- **DSLAM**

El DSLAM es un elemento clave en las redes de acceso basadas en DSL.

Según lo visto en la arquitectura de un sistema DSL, por cada línea de abonado se necesitan una pareja de terminales, ATU-R y ATU-C. Desplegar una red completa para ofrecer un único servicio no era rentable para las operadoras. Además, estaba el hecho de que la utilización de productos que cumplieran los estándares era demasiado caro, ya que incluían funcionalidades innecesarias y podían no estar optimizados para los servicios que se requerían.

Eliminando elementos intermedios y equipos no optimizados, se reducirían significativamente los costes del producto. De esta forma se pensó en integrar los módems y conexiones DSL en un equipo con una interfaz de gran capacidad de transmisión que concentra el tráfico de todos los enlaces DSL hacia la red. Así nació el DSLAM:



Fig. 4.2 Esquema DSLAM

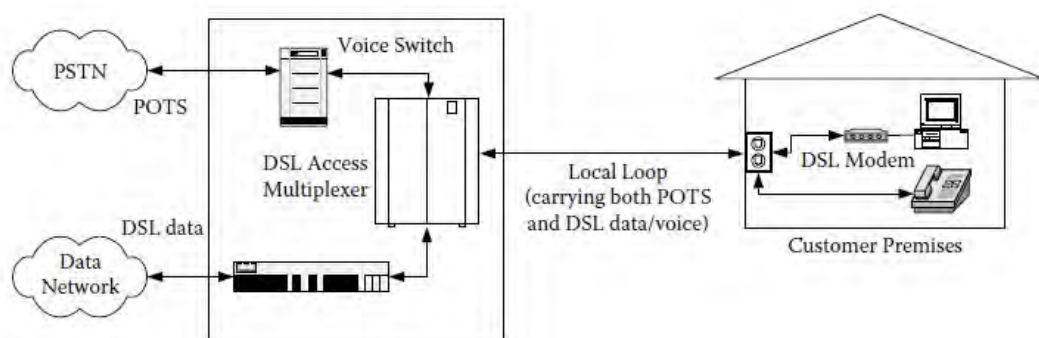


Fig. 4.3 Central Office

- *Splitters*

La razón fundamental para que el DSL y el servicio de voz puedan coexistir en la misma línea física es que ambos servicios se pueden transmitir en diferentes rangos de frecuencias con una banda intermedia de transición.

Para poder realizar la multiplexación de las señales de datos de ambos sentidos, se necesita un dispositivo que las multiplixe en la misma línea. Este dispositivo es el *splitter*. Un Filtro Paso Bajo, que deja pasar las frecuencias propias de la banda vocal, y un Filtro Paso Alto que deja pasar las frecuencias en las que trabaja el ADSL.

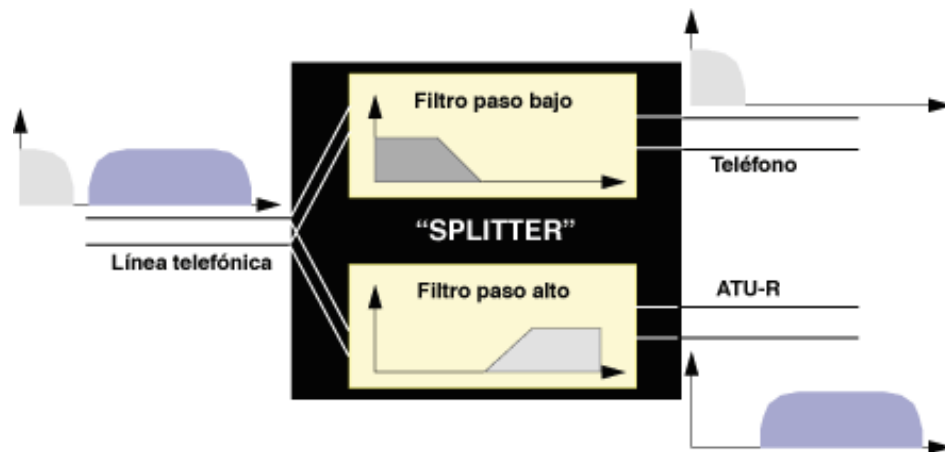


Fig. 4.4 Esquema splitter

La función del *splitter* es necesaria debido a las potenciales interferencias entre los servicios de voz y ADSL. El servicio de voz tradicional no fue pensado para convivir con otros en la misma línea y genera señales de alta frecuencia en alguno de sus estados que pueden interferir con las señales ADSL. Pueden ser señales generadas en la señal de llamada, al descolgar, de supresión de señal de llamada.

Los *splitters* también protegen el servicio de banda vocal de las señales ADSL que puedan influir por su carácter no lineal.

Se requiere la instalación de uno en casa del usuario y otro en la central, para separar ambos flujos y tratarlos convenientemente.

- **Modulación**

La modulación utilizada por los sistemas DSL es DMT, un tipo de modulación multiportadora que se ha descrito brevemente anteriormente.

El espectro de la señal de entrada se distribuye sobre varios canales. Cada uno de estos canales se modula de manera independiente sobre una frecuencia portadora.

La función de transferencia de cada canal se obtiene tras un proceso de negociación con tonos conocidos. Este canal se divide en subcanales de igual ancho de banda. El objetivo es mantener la respuesta en frecuencia en cada subcanal aproximadamente constante, reduciendo la necesidad de tener que ecualizar los subcanales.

Conociendo la Relación Señal-Ruido, SNR, de cada subcanal, se puede determinar la información que puede transmitirse por dicho canal, es decir, se puede determinar el número de bits que se puede asignar al subcanal. Cuanto mayor sea la SNR de un canal, mayor cantidad de información podrá transmitir. La modulación de cada subcanal es QAM

El canal podrá ser supervisado para determinar cambios en el mismo y realizar una readaptación dinámica de la velocidad.

El modo de separación de señales en sentido ascendente y descendente en ADSL es opcional, dependiendo de si hay superposición del espectro o no. Uno de los métodos es el de multiplexación por división en frecuencia, FDM, usado para los sistemas en los que no hay solapamiento del espectro. El otro es la cancelación de ecos, cuando si hay superposición.

4.2.1.2. División del espectro de frecuencias

Para hacerla compatible con los servicios de telefonía, el espectro utilizado por el servicio ADSL comienza por encima de los 25 KHz. El rango de frecuencias utilizadas por un transceptor ADSL depende del sentido de transmisión, *downstream* o *upstream*, además de si el servicio funciona sobre POTS o sobre RDSI. El espectro

utilizado para el sentido *downstream* también es diferente si hay o no solapamiento espectral.

- **ADSL sobre POTS**

El Anexo A de la Recomendación G.992.1 define el uso del espectro para el servicio ADSL compatible con servicios de telefonía tradicional, POTS.

La banda más ancha posible para el ADSL en la comprendida entre los 25 KHz y los 1104 KHz.

La plantilla espectral para la señal de transmisión en sentido descendente es:

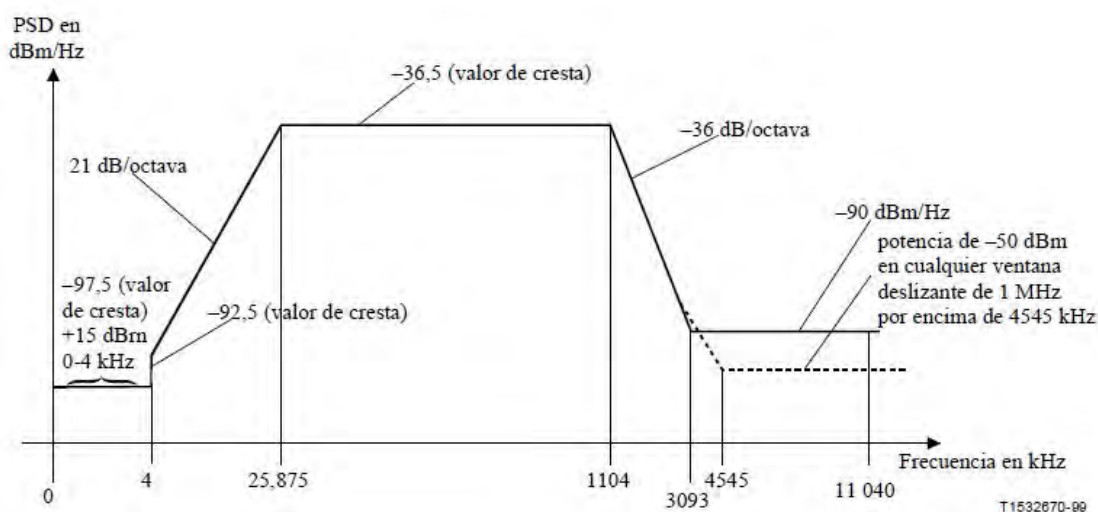


Fig. 4.5 Plantilla de densidad espectral sentido descendente (Definida en ITU-T G.992.1 Anexo A)

La plantillad de densidad espectral para el sentido ascendente es:

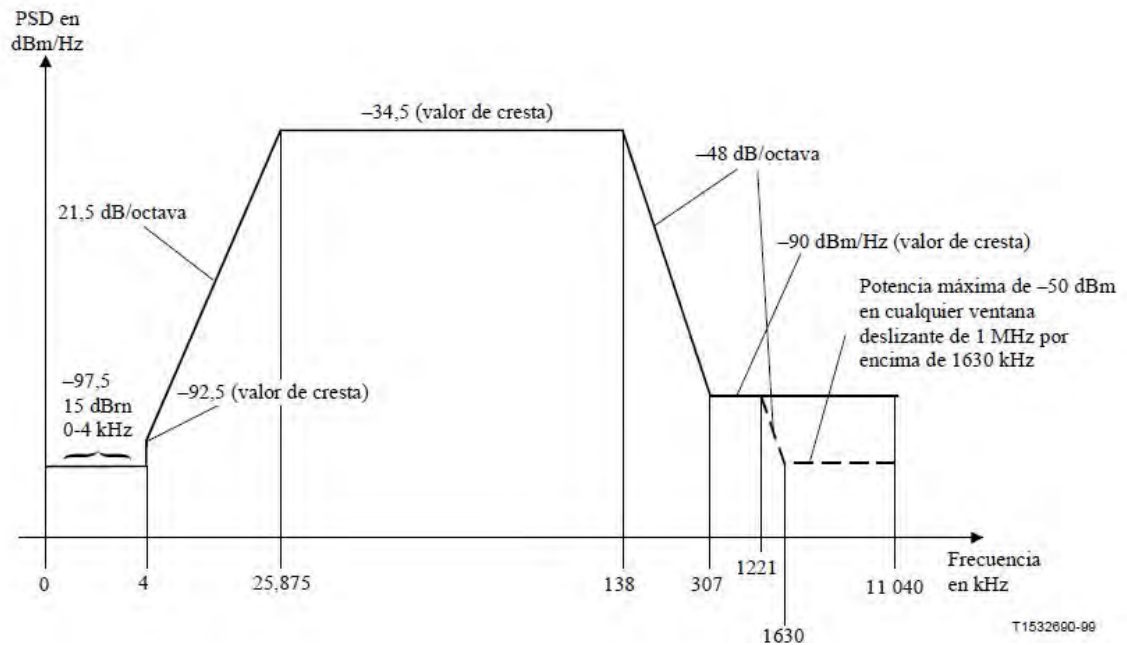


Fig. 4.6 Plantilla de densidad espectral sentido ascendente (Definida en ITU-T G.992.1 Anexo A)

La banda vocal está comprendida entre los 0 y los 4 KHz y la potencia total en ella no puede exceder de los 15 dBm para asegurar la compatibilidad del ADSL con el servicio de voz.

Entre los 4 y los 25 KHz está la banda de transición, en la cual los sistemas ADSL no transmiten energía significativa.

Para la transmisión en sentido ascendente se utiliza la banda entre los 25 y los 138 KHz.

○ Funcionamiento sin solapamiento espectral

En el funcionamiento sin solapamiento espectral la banda *upstream* y la banda *downstream* no se solapan en el espectro de frecuencias. Esta modalidad ofrece una calidad de funcionamiento mejorada en sentido ascendente. En este caso la plantilla de densidad espectral en sentido descendente es:

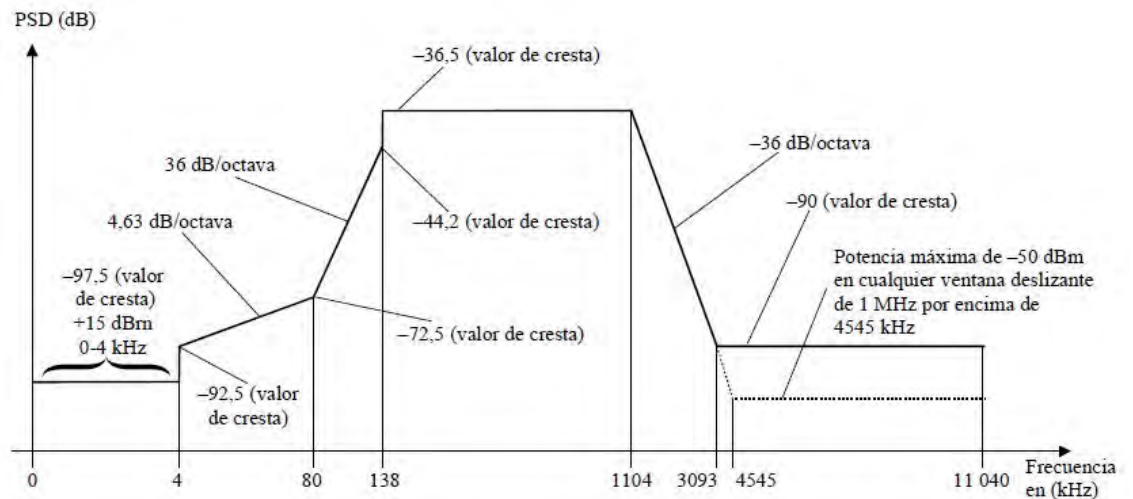


Fig. 4.7 Plantilla de densidad espectral sentido descendente sin solapamiento espectral (Definida en ITU-T G.992.1 Anexo A)

Se puede observar la diferencia en la banda de frecuencias entre los 25 y los 138 KHz con respecto a la plantilla anterior, mostrada en la figura 3.5. En este caso, para el sentido descendente, no se transmite energía significativa. Esta banda está reservada para la transmisión en sentido ascendente.

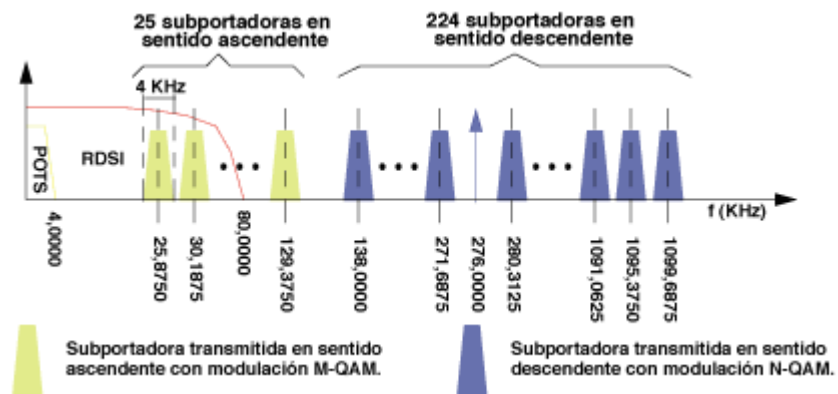


Fig 4.8 Distribución de portadoras en un sistema ADSL (sin solapamiento espectral)

Como se ha comentado anteriormente, cuando no hay superposición espectral se utiliza FDM como método para separar las señales ascendente y descendente. En este caso se simplifica el diseño de los módems, aunque, como se ve en la figura 3.8 se reduce el número de portadoras que se pueden utilizar en sentido descendente, reduciendo la capacidad de transmisión.

Este modo es mucho más usado que el funcionamiento con solapamiento espectral.

- Funcionamiento con solapamiento espectral

En este modo de funcionamiento las plantillas espectrales son las mostradas en las figuras 4.5 y 4.6.

En este caso la banda *upstream* se solapa con las bajas frecuencias de la banda *downstream*. Debido a esto se necesita disponer de canceladores de eco en los extremos del enlace para poder separar convenientemente ambos flujos de información, además de que el efecto del *crosstalk* en el canal de *upstream* es mucho mayor que en el funcionamiento sin solapamiento espectral.

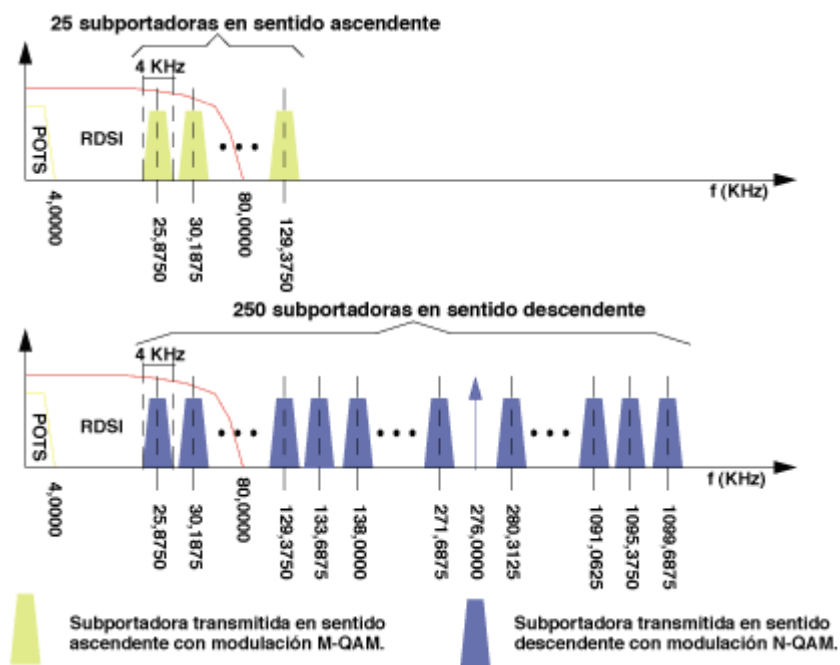


Fig 4.9 Distribución de portadoras en un sistema ADSL (con solapamiento espectral)

En este modo de funcionamiento se complica el diseño de los módems a favor de una mayor capacidad de transporte en sentido descendente. Para permitir la superposición en la parte del espectro que en la otra modalidad es usado exclusivamente para la señal en sentido ascendente, es necesario un cancelador de ecos que separe las señales correspondientes a ambos sentidos de la transmisión. Los ecos se producen cuando parte de la señal enviada se refleja y vuelve al emisor y, debido a que se comparten las mismas frecuencias, ésta puede ser interpretada incorrectamente como

una señal que ha sido enviada por el otro extremo. Los canceladores de eco restan la señal enviada de la recibida, permitiendo que se distingan ambas.

- **ADSL sobre RDSI**

El uso del espectro para hacer compatible el uso de la tecnología ADSL con el servicio RDSI está definido en el Anexo B de la Recomendación G.992.1.

En este caso la plantilla espectral de la señal de transmisión en sentido descendente es la siguiente:

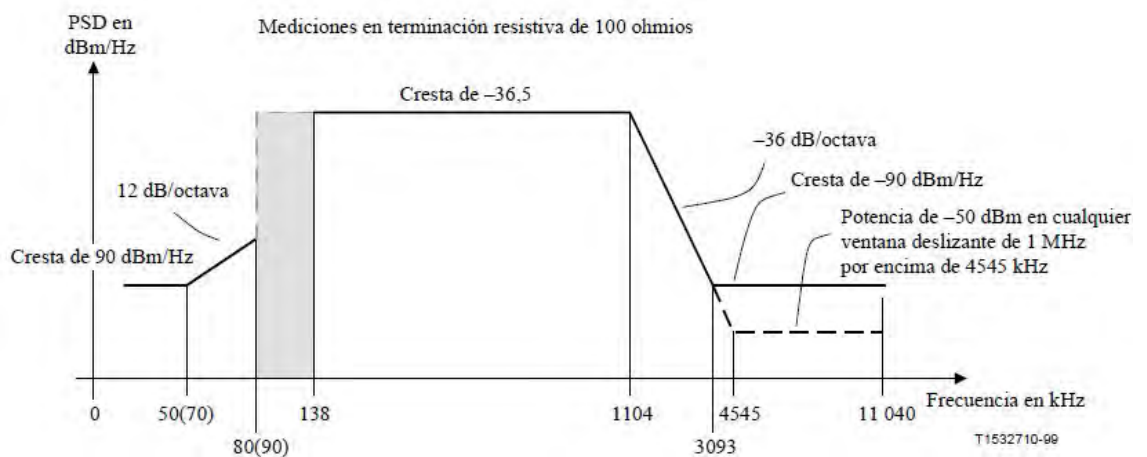


Fig. 4.10 Plantilla de densidad espectral sentido descendente (Definida en ITU-T G.992.1 Anexo B)

En este caso, para garantizar la compatibilidad con el servicio RDSI, que utiliza una banda de frecuencias mayor que el servicio POTS, el espectro utilizado por el servicio ADSL comienza a partir de los 138 KHz.

En sentido ascendente, la plantilla espectral definida en la Recomendación es:

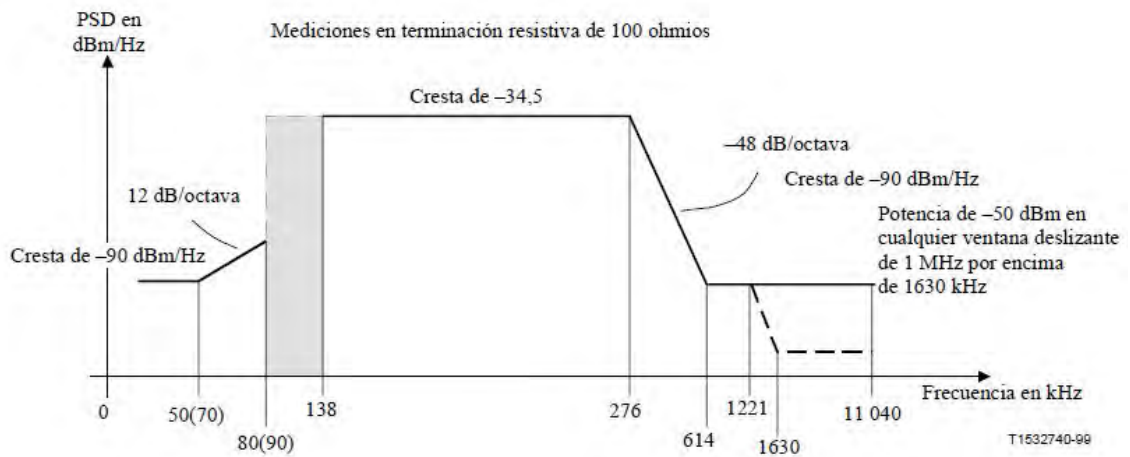


Fig. 4.11 Plantilla de densidad espectral sentido ascendente (Definida en ITU-T G.992.1 Anexo B)

Donde se observa que las frecuencias utilizadas en la transmisión en sentido ascendente son las comprendidas entre los 138 KHz y los 276 KHz.

4.2.1.3. Características funcionales

- **Modelo de referencia de la ATU**

En el nivel de transporte, ADSL permite el uso tanto del modo síncrono, STM o *Synchronous Transfer Mode* como del modo asíncrono, ATM o *Asynchronous Transfer Mode*.

- STM

El modelo de referencia para la ATU-C definido en la Recomendación G.992.1 es el siguiente

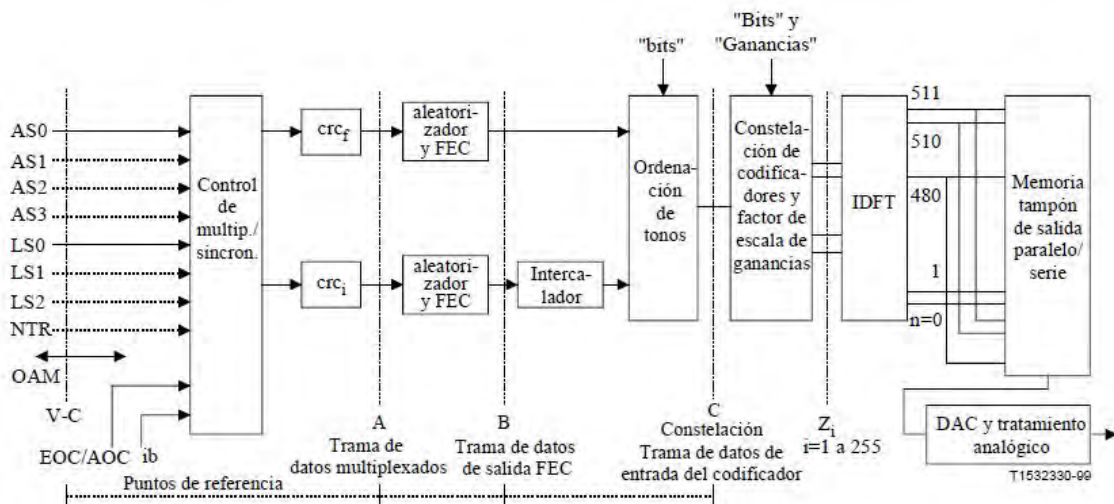


Fig. 4.12 Modelo de referencia de la ATU-C para STM (Definido en la Recomendación ITU-T G.992.1)

Se definen siete canales portadores de los cuales cuatro, AS0, AS1, AS2 y AS3 son únicamente para el sentido *downstream*. Los otros tres, LS0, LS1 y LS2 son canales dúplex, para ambos sentidos.

La Recomendación requiere que la ATU-C soporte como mínimo los canales AS0 y LS0.

Estos canales son multiplexados junto con los siguientes:

- NTR, *Network Timing Reference*: La referencia de temporización en red puede ser transmitido por la ATU-C al ATU-R
- Canal EOC, *Embedded Operation Channel*: Este canal soporta funciones de mantenimiento y recopila información acerca del estado de la ATU-R y sobre parámetros de calidad de funcionamiento.
- Canal AOC, *ADSL Overhead Control*: mediante este canal se realizan funciones de transposición de bits y de reacondicionamiento rápido. La función de transposición de bits permite al sistema modificar el número de bits asignado a una portadora o modificar la energía de transmisión de una subportadora sin interrumpir el flujo de datos. La función de reacondicionamiento rápido permite que se modifiquen con rapidez las características de transmisión cuando se alteran las condiciones de la línea.

○ ATM

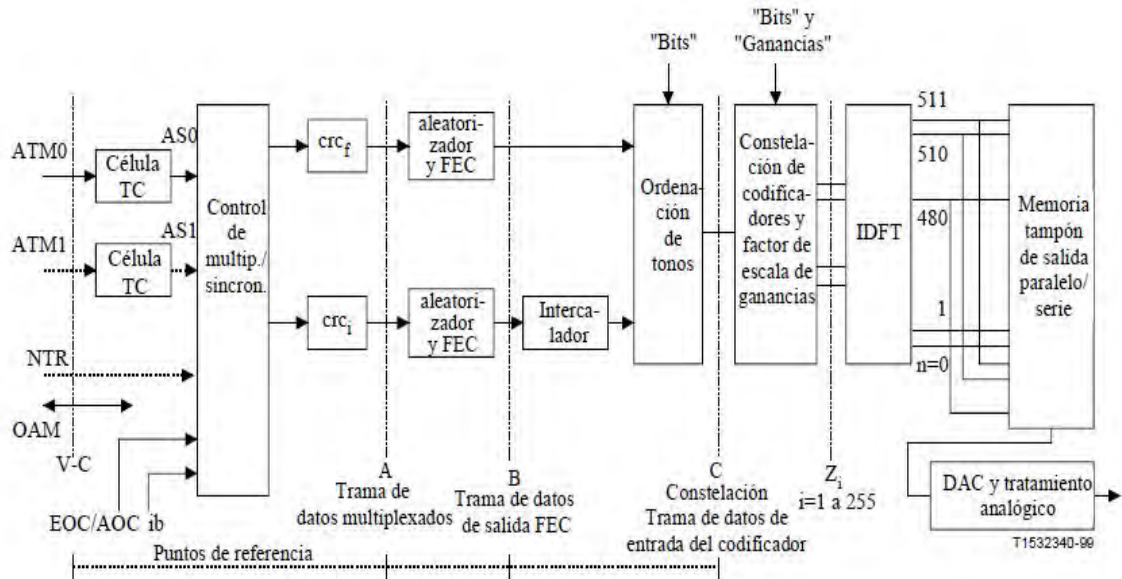


Fig. 4.13 Modelo de referencia de la ATU-C para ATM (Definido en la Recomendación ITU-T G.992.1)

La diferencia con el modelo de referencia para el sistema STM es que en lugar de los siete canales portadores existen dos canales de celdas ATM. El soporte del canal AS0 es obligatorio.

El modelo de referencia para la ATU-R es análogo pero realizando las funciones inversas. La principal diferencia es el número de subcanales generados, ya que en el sentido ascendente el ancho de banda usado es mucho menor y se necesitan menos canales.

- **Trayectos de latencia**

Se definen también dos trayectos de latencia, el trayecto rápido y el entrelazado. En ambos casos existe el proceso de verificación de errores por redundancia cíclica, CRC, y el aleatorizador. El flujo de datos se introduce en este aleatorizador, que genera una señal resultante con un espectro ensanchado y homogéneo, evitando las secuencias largas de unos y ceros. Después se introduce en el bloque de corrección de errores FEC, *Forward Error Correction*, que le añade bits de redundancia que proporcionan cierta

capacidad de detección y corrección de errores. El tipo de código FEC que se aplica es el de Reed-Solomon.

En uno de los trayectos, se incluye el entrelazador, *Interleaved Path*. Este elemento entrelaza las palabras que salen del bloque FEC convolucionalmente. El parámetro que define el entrelazador es la profundidad de entrelazado.

El objetivo del entrelazado es proporcionar una mayor probabilidad de poder decodificar correctamente la señal en el extremo receptor en caso de presencia de ruido impulsivo en el canal durante la transmisión.

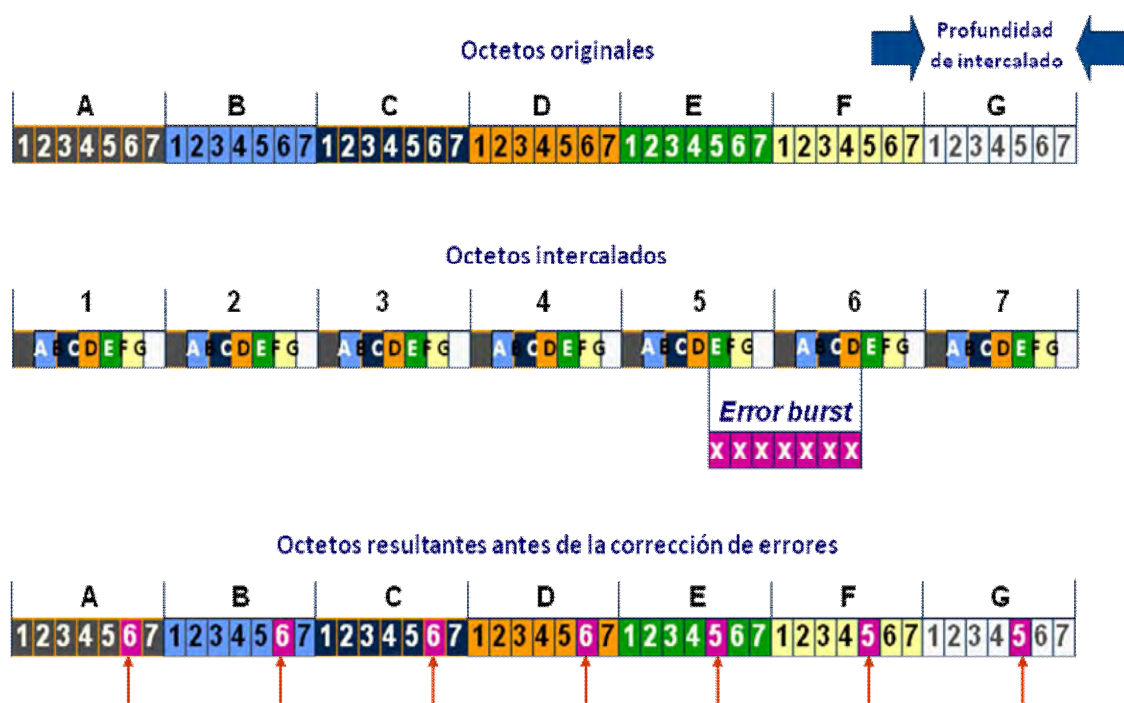


Fig. 4.14 Funcionamiento del entrelazador

El entrelazador incrementa el tiempo de latencia porque el receptor debe esperar a recibir todos los bytes que forman la palabra antes de poder decodificarla.

Muchas aplicaciones soportan los tiempos de latencia derivados del entrelazador, pero otras, como juegos en línea o conexiones de voz, necesitan un trayecto sin entrelazador, *Fast Path*.

- **Ordenación de tramas**

A la salida del entrelazador está el bloque de ordenación de tonos, donde se dispondrá el flujo de bits. En este bloque funcional se realizará la distribución de bits para cada una de las diferentes subportadoras.

Cada subportadora tiene un número asignado de bits, negociado en el establecimiento de la sesión, o cuando cambien las condiciones de transmisión.

El procedimiento de ordenación de tonos dependerá de las funcionalidades soportadas por el sistema ADSL, es diferente si soporta uno o los dos trayectos de latencia y si se soporta *Trellis Coding*, que es una funcionalidad opcional.

Si el sistema usa un solo trayecto de latencia y no soporta *Trellis Coding*, los bits se van asignando a los subcanales de índice más bajo disponible.

4.2.1.4. Ventajas e inconvenientes

- **Ventajas**

- Simultaneidad con el uso del servicio telefónico. La compatibilidad de los espectros de frecuencias usados por ambos servicios permite que sean usados al mismo tiempo en la misma línea.
- Uso de la red de pares de cobre. Esta tecnología hace uso de la red de acceso existente, minimizando las inversiones necesarias para su despliegue.
- Tarifa plana. El coste que el servicio tiene para el usuario final no depende del tiempo que esté conectado ni del volumen de tráfico que genere.
- Siempre conectado (Always On Line). El módem del usuario está siempre conectado con la central. Por lo tanto se eliminan los tiempos de conexión y los reintentos debidos a llamadas fallidas.

- Ancho de banda dedicado. El ancho de banda ofrecido a cada usuario en ambos sentidos es de uso exclusivo, por lo que no le afecta el aumento del número de usuarios del servicio.
- Medio de acceso dedicado. El medio físico por el que se ofrece el servicio no es compartido por varios usuarios, ofreciendo más seguridad que otras tecnologías en las que el medio si es compartido por varios usuarios.
- Alta velocidad. Ofrece una mayor velocidad que la ofrecida mediante conexiones telefónicas, que era el servicio que se ofrecía al usuario residencial antes del desarrollo de esta tecnología.

- **Inconvenientes**

- Exigencias de calidad del par. El principal inconveniente de la tecnología ADSL es que no se puede ofrecer sobre cualquier línea telefónica. Existen unos requisitos mínimos, en cuanto a ruido y atenuación. La distancia máxima a la que se puede ofrecer un servicio ADSL con una calidad aceptable ronda los 6Km, dependiendo del estado en el que se encuentre el par de cobre.
- Incompatibilidad con otros servicios. Existen una serie de servicios que no se pueden ofrecer en la misma línea que el ADSL. Algunos de estos servicios pueden ser:
 - Teletarifación mediante impulsos de 12 KHz
 - Hilo musical
 - Servicio Novacom (RDSI)
 - Servicio TRAC (Telefonía Rural de Acceso Celular)
 - Líneas de backup, circuitos alquilados (Frame Relay, IP Básico)
 - Servicio de Red Delta
 - Extensiones de centralita
 - Ibercom
- Capacidad de transmisión. La capacidad de transmisión del ADSL es inferior a la de otros servicios existentes.

4.2.2. ADSL2

4.2.2.1. Introducción

El ADSL2 es una evolución del ADSL G.992.1, especificada en la Recomendación G.992.3 de la ITU-T. Esta nueva tecnología proporciona nuevas funcionalidades y mejora el rendimiento con respecto a su predecesora.

En este capítulo se estudiarán las principales mejoras incluidas en este estándar respecto a su predecesor.

4.2.2.2. Mejoras

Podemos clasificar las nuevas características y funcionalidades del ADSL2 en varios bloques:

- **Mejora del rendimiento**

Uno de los cambios en los que está basada la mejora en el rendimiento es la codificación. En ADSL es obligatorio soportar *Trellis Coding*, aunque el receptor puede elegir deshabilitarlo. Esto último se debe a que en ocasiones, cuando se trata de bucles muy cortos, el uso de *Trellis Coding* empeora el rendimiento por las cabeceras que introduce. De esta forma, se puede decir que es obligatorio para el transmisor soportar *Trellis Coding*, y opcional para el receptor. La mejora en el rendimiento introducida por este tipo de codificación es notable para la mayoría de los bucles, por lo que en la práctica todos los receptores ADSL2 soportan *Trellis Coding*.

Otra pequeña mejora en la velocidad, sobre todo en los bucles largos, es que en ADSL2 se permiten las subportadoras soportando un solo bit, con o sin *Trellis Coding*.

En ADSL2 se permite al receptor en *downstream* decidir si es necesario usar una de las portadoras como portadora piloto. Si no se usa, se traduce en una portadora útil adicional para el transporte de información de usuario. Esto puede suponer una ligera mejora en el rendimiento.

Los módems diseñados para soportar ADSL2 deben soportar al menos 8 Mbps en sentido descendente y 800 Kbps en sentido ascendente.

Las restricciones impuestas en ADSL respecto a la formación de palabras código Reed-Solomon para acoplarlas a tonos DTMF ya no existe en ADSL2. Esta optimización en el uso de la codificación da como resultado una mayor ganancia mejorando el rendimiento del ADSL2.

Respecto a la formación de tramas, incluye ciertos parámetros variables que permiten una mayor flexibilidad en la velocidad de las cabeceras, que en ADSL es fijo.

También ciertas mejoras en los procesos de inicialización suponen un incremento en el rendimiento. Se incluyen nuevos procedimientos de diagnóstico de la línea mejorando el intercambio de información durante el proceso de entrenamiento, así como mejoras en la medida de la relación señal ruido. También se incluye, opcionalmente, una secuencia corta de inicialización que permite recuperarse de errores o reinicio rápido de la conexión sin interrupciones.

En ADSL2 se incluye el soporte de multiplexación inversa sobre ATM, IMA, que permite un aumento de la velocidad usando múltiples líneas telefónicas para el mismo enlace ADSL2.

- **Supervisión del estado de la conexión**

Existen nuevos procedimientos de mantenimiento y gestión que permiten obtener información más detallada sobre el estado de la línea durante su monitorización.

- **Adaptación de la velocidad de la conexión**

Se incluyen mecanismos mejorados de reconfiguración, como DRR, SRA o *bit sawp*.

DRR, *Dynamic Rate Repartition*, permite realojar bits de un canal portador a otro para la optimización de los servicios que viajan en la línea, teniendo en cuenta las necesidades de capacidad y rendimiento de cada uno.

SRA, *Seamless Rate Adaptation*, permite variar la velocidad de la línea, sin necesidad de interrumpir la conexión, en el caso de que las condiciones físicas sufran alguna variación.

Ambos mecanismos son opcionales en ADSL2.

El *bit swap* es un mecanismo que se definió en ADSL y en esta evolución se mejoran las técnicas para ejecutarlo. Una vez que una conexión ADSL se ha establecido, el número de bits por portadora ha sido asignado dependiendo del SNR que tuvieran en el momento de la inicialización de la conexión. Este SNR probablemente no se mantenga constante durante el tiempo que dure la conexión. El *bit swap*, permite la reubicación de bits en portadoras que empeoran su SNR a otras que lo mejoran, sin que sea necesario reiniciar el enlace. La velocidad de la conexión se mantiene después de esta operación.

- **Mejora en la robustez**

Varias de las mejoras incluidas dan lugar a líneas más robustas. Algunas de las que ya se han expuesto, además de las características mencionadas también ofrecen ventajas en este sentido, como puede ser que el receptor decida la necesidad de presencia de portadora piloto.

Otra es el SRA, que permite que el empeoramiento de las condiciones físicas de la línea no suponga una caída del enlace si ya no es posible soportar la velocidad a la que sincronizó, ya que puede cambiar las condiciones de la transmisión sin necesidad de que ambos módems vuelvan a negociarlas.

Además de las ya mencionadas, ADSL2 proporciona mecanismos mejorados para coordinar las operaciones de bit swap.

También se incluyen mejoras en la respuesta ante interferencias RFI. La ordenación de tonos la determina el receptor y existen mecanismos que permiten bloquear portadoras en frecuencias afectadas por este tipo de ruido durante la fase de inicialización.

- **Otras mejoras**

Varios mecanismos de gestión y ahorro de energía a varios niveles se introducen en este nuevo estándar.

Uno de estos mecanismos consiste en regular la energía en función del tráfico existente, el otro en la existencia de un modo de reposo si la conexión ha dejado de usarse durante un periodo largo de tiempo.

Además, se define una interfaz nueva que soporta el modo de transferencia de paquetes, PTM, además del ATM y STM que soportaba el ADSL, atendiendo a la demanda del uso de paquetes Ethernet como mecanismo de transporte en DSL.

4.2.2.3. Nuevas funcionalidades

En ADSL2 se incluyen varias funcionalidades definidas en varios anexos, de los cuales se van a destacar algunos.

- **Anexo I**

El Anexo I de la Recomendación G.992.3 define un modo todo digital con compatibilidad espectral con ADSL sobre POTS.

En el modo ADSL2 todo digital no existe la presencia de servicios POTS ni RDSI sobre el enlace de modo que todas las frecuencias reservadas para estos servicios pueden ser utilizadas por el ADSL.

En un primer momento únicamente se definieron máscaras con solapamiento espectral, y no fue hasta posteriores enmiendas de la Recomendación cuando se incluyeron máscaras sin solapamiento espectral.

El rendimiento de la línea usando G.992.3 Anexo I, sin solapamiento espectral, es el siguiente:

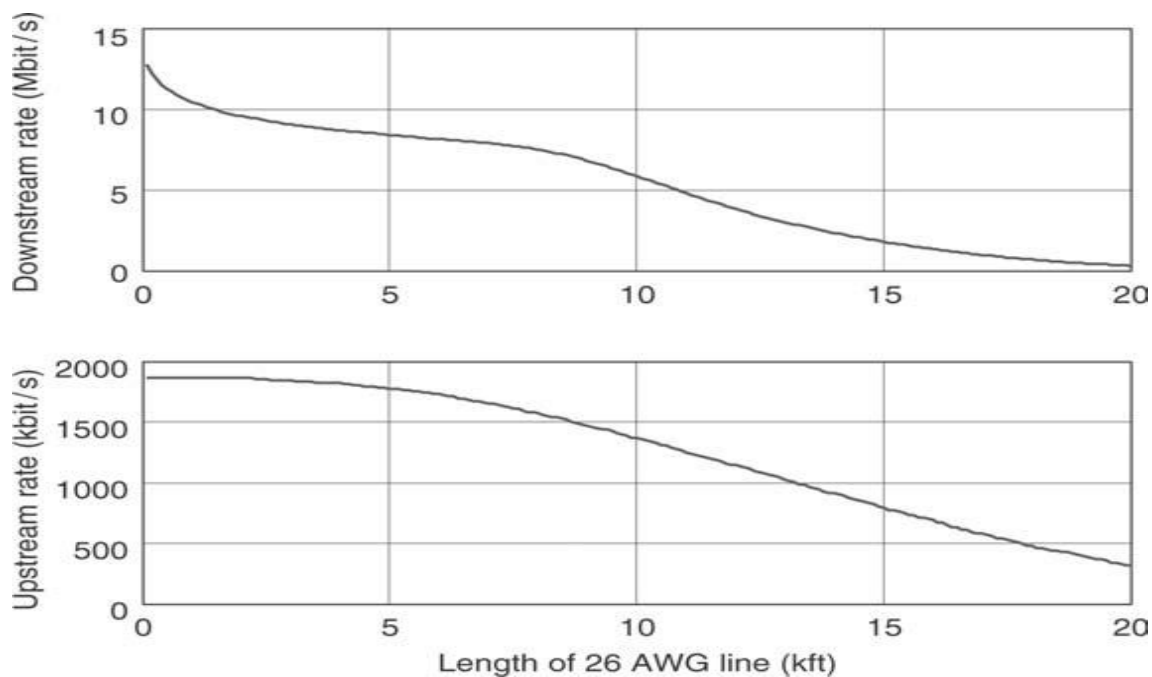


Fig. 4.15 Rendimiento de una línea ADSL2 funcionando con el Anexo I

Se puede observar la mejora, comparándolo con el rendimiento del mismo estándar, también sin solapamiento espectral, sin el uso del Anexo I, es decir, usando el Anexo A.

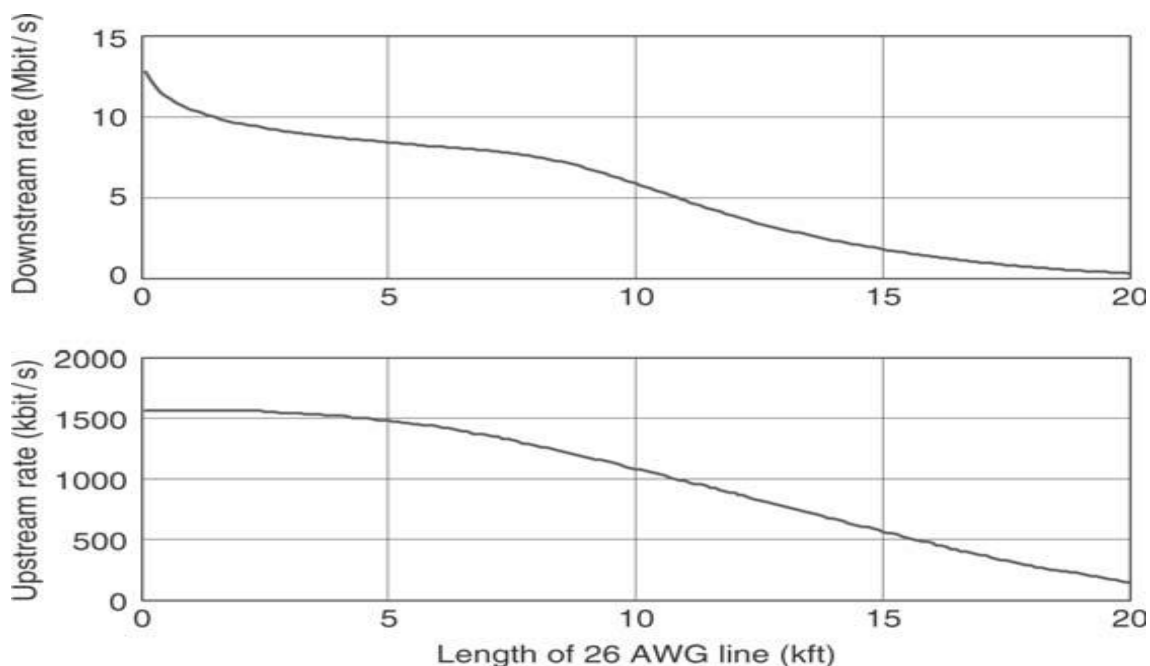


Fig. 4.16 Rendimiento de una línea ADSL2 funcionando con el Anexo A

En el caso de las gráficas mostradas, usando máscaras sin solapamiento espectral, se observa el aumento del rendimiento principalmente en el sentido ascendente, que es donde aumenta el número de portadoras utilizables al no tener que reservarlas para el servicio POTS.

En el caso de usar máscaras con solapamiento espectral, el rendimiento aumentaría significativamente en ambas direcciones.

En el Anexo J se define el modo ADSL2 todo digital con compatibilidad espectral con ADSL sobre RDSI.

- **Anexo L**

En el Anexo L de la Recomendación G.992.3 se define un método para extender el alcance del servicio ADSL2 sobre POTS.

Este anexo está dirigido a mejorar el rendimiento del ADSL en bucles largos, y de hecho, en bucles cortos el rendimiento sería peor usando el Anexo L en lugar del Anexo A.

El mecanismo se basa en el hecho de que las frecuencias altas en bucles largos están demasiado atenuadas para soportar la transmisión de bits, por lo que se restringe la máscara de densidad espectral únicamente a las frecuencias más bajas del espectro. Se traduce en una reducción del ancho de banda disponible en beneficio de la distancia alcanzable.

El uso del Anexo L es opcional, pero aquellos módems que lo soporten, deberán soportar también el Anexo A, asegurando el uso del Anexo L en aquellos bucles donde suponga un beneficio.

- **Anexo M**

El Anexo M de la Recomendación G.992.3 define un ancho de banda extendido en el sentido *upstream*. En el estándar se definen varias máscaras espectrales, hasta nueve, dependiendo de la frecuencia máxima utilizada para el sentido ascendente.

En todas las máscaras la frecuencia de corte por abajo es de 25 KHz para hacerlo compatible con el servicio de POTS.

En las siguientes figuras se muestra la máscara espectral para el Anexo M, y la tabla que ofrece la Recomendación para los posibles valores de la frecuencia máxima utilizada en el sentido *upstream*.

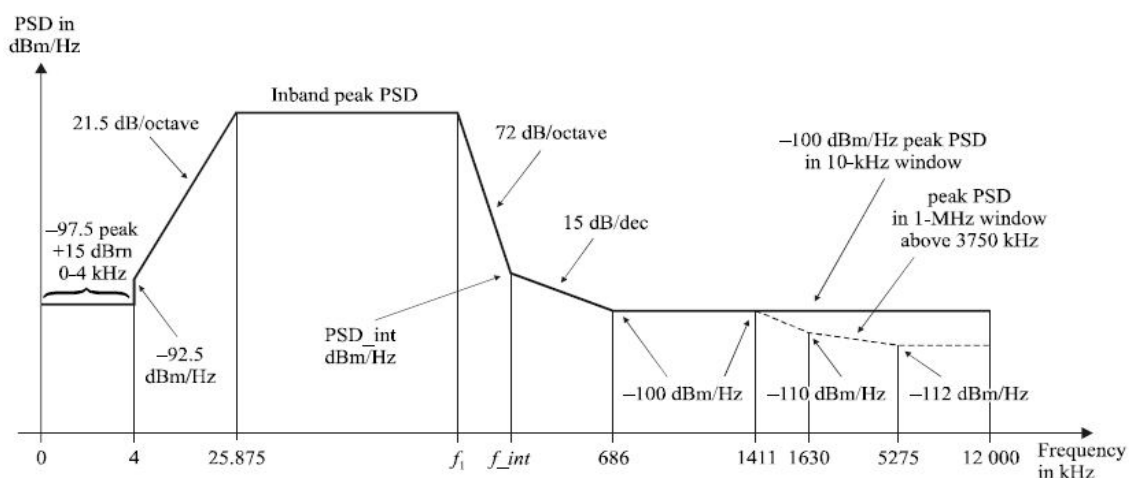


Fig. 4.17 Plantilla de densidad espectral sentido descendente (Definida en ITU-T G.992.3 Anexo M)

Table M.3 – *Inband_peak_PSD, PSD_int* and the frequencies *f1* and *f_int*

Upstream mask number	Designator	Template nominal PSD (dBm/Hz)	Template maximum aggregate transmit power (dBm)	Inband peak PSD (dBm/Hz)	Frequency <i>f1</i> (kHz)	Intercept frequency <i>f_int</i> (kHz)	Intercept PSD level <i>PSD_int</i> (dBm/Hz)
1	EU-32	–38.0	12.5	–34.5	138.00	242.92	–93.2
2	EU-36	–38.5	12.62	–35.0	155.25	274.00	–94.0
3	EU-40	–39.0	12.66	–35.5	172.50	305.16	–94.7
4	EU-44	–39.4	12.75	–35.9	189.75	336.40	–95.4
5	EU-48	–39.8	12.78	–36.3	207.00	367.69	–95.9
6	EU-52	–40.1	12.87	–36.6	224.25	399.04	–96.5
7	EU-56	–40.4	12.94	–36.9	241.50	430.45	–97.0
8	EU-60	–40.7	12.97	–37.2	258.75	461.90	–97.4
9	EU-64	–41.0	12.98	–37.5	276.00	493.41	–97.9
NOTE – The aggregate transmit power shall be limited for all PSD masks as defined in clause M.2.2.2.							

Tabla 4.1 Valores posibles del rango de frecuencias para upstream

En el sentido descendente se definen máscaras con y sin solapamiento espectral.

Utilizando estas frecuencias adicionales para el sentido ascendente, se pueden alcanzar velocidades teóricas de subida de hasta 3,5 Mbps.

Este Anexo atiende a la demanda de los usuarios de una mayor velocidad de subida derivada del uso cada vez más común de servicios como redes sociales que requieren la subida a la red de un volumen considerable de datos.

4.2.3. ADSL2+

4.2.3.1. Introducción

La siguiente evolución del ADSL fue el llamado ADSL2+, definido en la recomendación de la ITU-T G.992.5.

Esta tecnología desarrollada al tiempo que el VDSL, tenía como objetivo proporcionar velocidades de transmisión más altas que el ADSL y el ADSL2,

manteniendo los mismos rangos de alcance, ya que el VDSL, aunque proporcionaba velocidades más altas, alcanzaba poco más de un kilómetro.

4.2.3.2. Mejoras

Para conseguir aumentar la velocidad máxima alcanzable de manera significativa, en ADSL2+ se dobla el ancho de banda disponible en sentido descendente. De esta forma, la frecuencia máxima a la que trabaja el ADSL2+ pasa a ser 2,2 MHz, en lugar de 1,1 MHz que era el máxima en ADSL y ADSL2.

Esta es la principal característica del ADSL2+, y la que lo diferencia del ADSL2. La Recomendación donde está definido hace referencias a la del ADSL2 en la mayoría de las descripciones y funcionalidades.

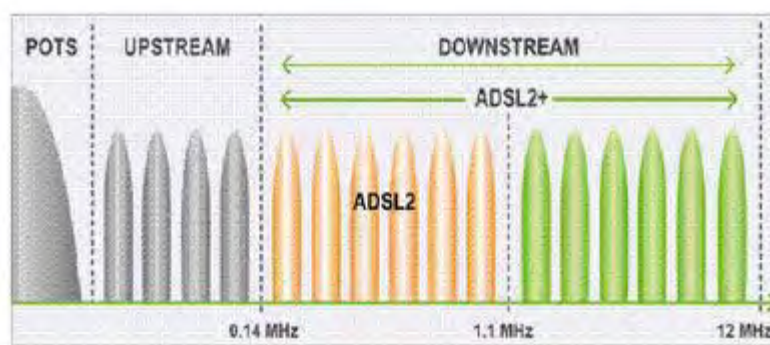


Fig. 4.18 Distribución del espectro de frecuencias en distintas tecnologías ADSL

De esta forma se consigue aumentar la velocidad de bajada en bucles de distancias cortas y medias hasta unos 24 Mbps. El ADSL2+ no es útil en bucles largos, porque utiliza las frecuencias más altas del espectro que son más sensibles a la atenuación y la diafonía.

4.2.3.3. Nuevas funcionalidades

Además del aumento del ancho de banda, hay otras funcionalidades incluidas en esta nueva Recomendación, principalmente un método de conformado de la densidad espectral en la transmisión. Este conformado permite mejorar la compatibilidad

espectral de los sistemas ADSL2+ en entornos compartidos con usuarios de ADSL y ADSL2, ajustando la máscara de densidad espectral por debajo de 1,1 MHz, que son las frecuencias compartidas con ellos.

En ADSL2+ no está definido el Anexo L. El motivo es que por la naturaleza del ADSL2+ no está indicado para bucles largos, por lo que no es consistente con el Anexo L, que está diseñado precisamente para aumentar el alcance del ADSL2 a bucles de larga distancia.

4.3. Resumen

Después del nacimiento del ADSL las necesidades de los usuarios de servicios de acceso de banda ancha han ido creciendo. Cada vez se requiere más y más velocidad tanto en subida como en bajada.

El ADSL, en sus orígenes, era una tecnología para el uso que los potenciales usuarios residenciales hacían de Internet. La mayor parte del tráfico generado por este uso era en sentido de la red hacia el usuario.

Con el tiempo, la demanda de velocidades de transferencia mayores, tanto en sentido descendente como ascendente, han dado lugar al desarrollo de las posteriores evoluciones del ADSL (ADSL2 y ADSL2+). El volumen de datos descargados en un uso residencial del acceso a Internet ha crecido principalmente por el aumento de contenido multimedia. También ha crecido el volumen de datos en sentido desde el usuario hacia la red, principalmente por la generalización del uso de servicios relacionados con redes sociales.

Estas evoluciones también han atendido a la demanda de soluciones a los principales inconvenientes de los accesos DSL que usan el bucle de abonado, uno de los cuales es la limitación en la distancia de la línea desde el domicilio a la central telefónica.

5. Línea de Abonado Digital de Muy Alta Velocidad VDSL y VDSL2

5.1. Introducción

A mediados de los 90, empezó a idearse una nueva tecnología DSL, enfocada a aprovechar el espectro de frecuencias utilizable en bucles cortos.

En el momento en el que se desarrollaba el ancho de banda máximo utilizado para las tecnologías ADSL había alcanzado los 2.2 MHz, pero para distancias más cortas, de alrededor de 1,5 Km, donde la atenuación en altas frecuencias era menor, se podía utilizar el espectro bastante por encima de estos 2,2 MHz.

De esta forma surgió el VDSL, por su nombre en inglés *Very High Speed Digital Subscriber Line*, cuyo objetivo era ofrecer velocidades de acceso mucho más altas que las obtenidas por el ADSL, aunque para bucles mucho más cortos.

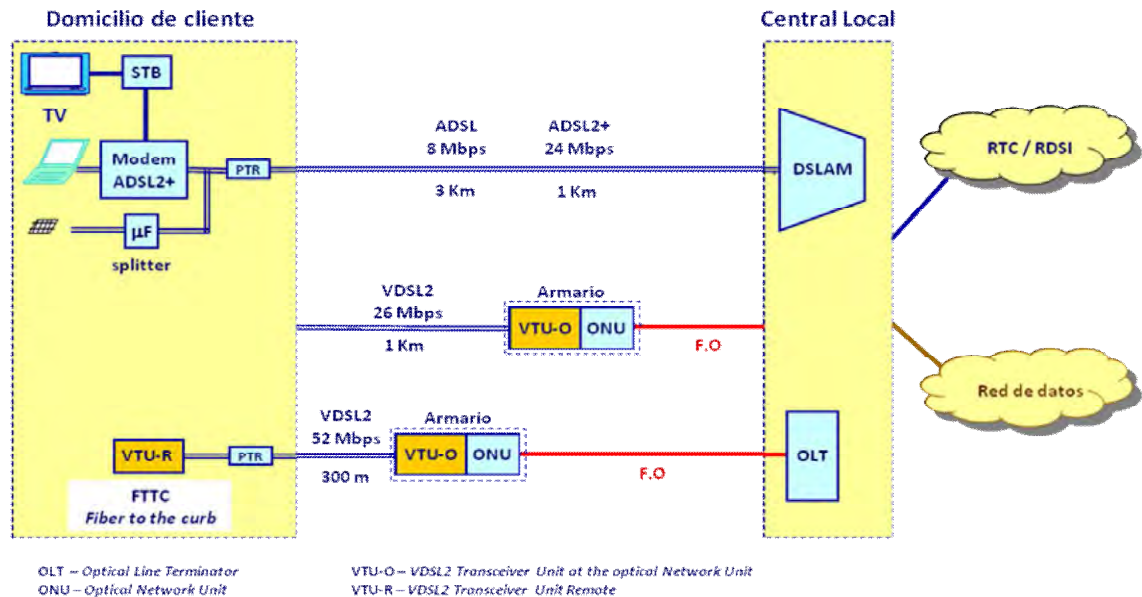


Fig. 5.1 Tecnología VDSL2

Esta nueva tecnología ofrece servicios tanto simétricos como asimétricos, de velocidades de hasta varias decenas de Mbps utilizando el espectro de frecuencias hasta los 12 MHz.

Una de las principales limitaciones de esta nueva tecnología era sin duda la distancia máxima a la que se podía ofrecer el servicio, ya que la alta velocidad depende de la disponibilidad de las frecuencias por encima de los 2,2 MHz, muy atenuadas a distancias largas. La necesidad de instalar los sistemas VDSL más cerca del cliente, da lugar a dos tipos de escenarios, las instalaciones desde la central y las instalaciones desde armario. Cada uno de los escenarios requiere desarrollos de máscaras espectrales de potencia específicos.

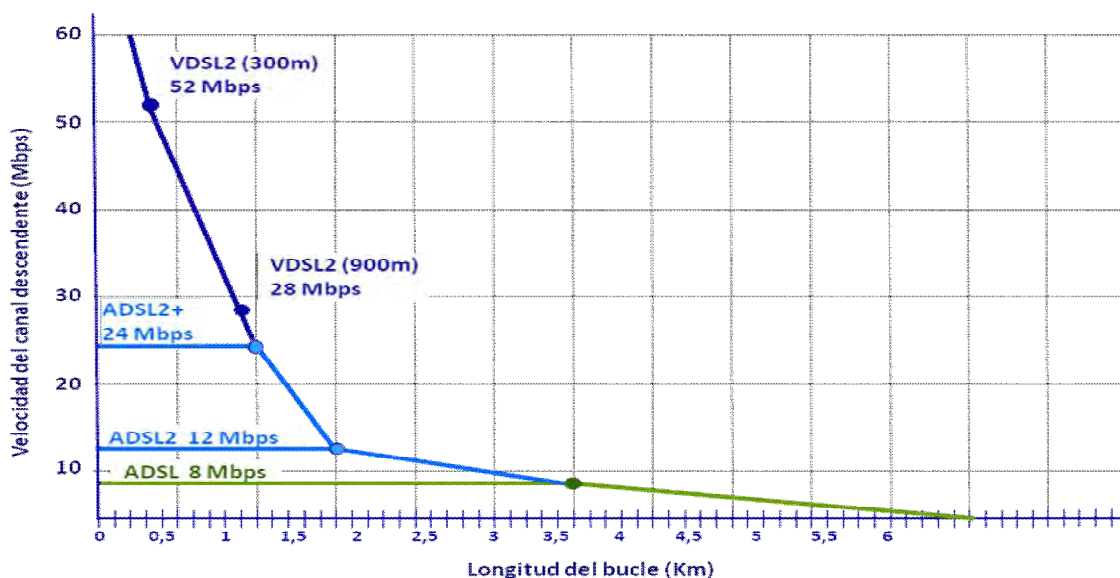


Fig. 5.2. Velocidad de transmisión según longitud del bucle

5.2. Tecnología VDSL

5.2.1. VDSL

5.2.1.1. Funcionamiento

- **Arquitectura**

El modelo de referencia de un sistema VDSL está definido en la Recomendación según la siguiente figura:

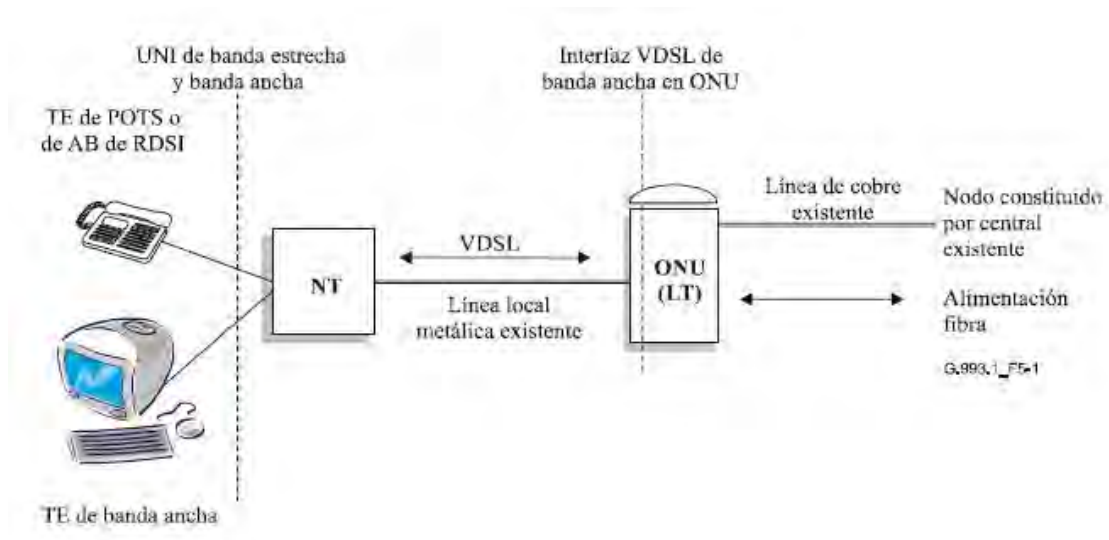


Fig. 5.3 Modelo de referencia sistema VDSL

Para ofrecer servicios de alta velocidad es necesaria una red de fibra hacia el nodo, ONU *Optical Network Unit*.

Desde el nodo hacia las instalaciones del cliente se usa la red de pares de cobre.

La terminación de red, NT *Network Termination*, proporciona la terminación del sistema de transmisión VDSL punto a punto. Su interfaz UNI, *User Network Interface*, presenta un conjunto de interfaces normalizadas de red de usuario en las instalaciones del cliente.

Debido a la necesidad de utilizar bucles cortos para poder proporcionar servicios VDSL, existen varias arquitecturas dependiendo de donde haya sido instalada la ONU.

- . FTTB: *Fiber to the Building* o Fibra hasta el Edificio.
- . FTTC: *Fiber to the Cub* o Fibra hasta la Acera.
- . FTTCab: *Fiber to the Cabinet* o Fibra hasta el armario.
- . FTTN: *Fiber to the Neighborhood* o Fibra hasta el vecindario.
- . FTTEEx: *Fiber to the Exchange* o Fibra hasta la central.

VDSL soporta dos modos de transporte, ATM o *Asynchronous Transfer Mode*, y PTM o *Packet Transfer Mode*, definidos en los Anexos G y H de la Recomendación.

- **Modulación**

Al principio de los trabajos de normalización de la tecnología VDSL se definieron dos tipos de modulación, no compatibles entre ellos, CAP/QAM denominado SCM por *Single Carrier Modulation*, y DMT.

Los documentos generados tanto por la ETSI como por ANSI definieron ambos tipos de modulación, aunque este último defendía el uso de SCM. La ITU en un primer momento no describió en su Recomendación ninguno de los dos métodos. Pasaron años durante los cuales ambos tipos de modulación se sometieron a estudios por terceras partes para determinar cuál de los dos métodos era más eficiente.

Finalmente se demostró que los módems que utilizaban modulación DMT superaban a los que usaban SCM y a partir de entonces ANSI recomendaba el uso de la modulación en el estándar de VDSL, aunque no descartó el uso de SCM en otros documentos. La ETSI continuó incluyendo la descripción de ambos métodos de modulación, aunque en ese momento empezó a trabajar en un nuevo estándar de VDSL que contemplaba únicamente el uso de DMT.

En la Recomendación de la ITU sobre VDSL contempla la modulación DMT en el cuerpo del documento, pero incluye SCM en uno de sus anexos.

5.2.1.2. División del espectro de frecuencias

Aunque en un primer momento se definió tanto la duplexación por división en el tiempo, *Time division dúplex*, TDD, como la duplexación por división en frecuencia, *Frequency Division Duplex*, FDD, finalmente se adoptó de manera general el método FDD para separar los dos sentidos de transmisión, sin solapamiento entre las bandas de frecuencia.

En el diseño del plan de bandas intervinieron varios factores. Uno de ellos es la dualidad de los sistemas VDSL para ofrecer tanto servicios simétricos como asimétricos, el diseño de un plan de bandas optimizado para accesos simétricos difiere

de uno optimizado para ofrecer servicios asimétricos. No pueden convivir diferentes planes de bandas sobre la misma red de pares de cobre porque no serían espectralmente compatibles, las frecuencias solapadas en los distintos planes se volverían inútiles debido al ruido NEXT. Por todo esto había que buscar un compromiso entre ambos tipos de servicio.

Finalmente, los sistemas VDSL utilizan un plan de bandas, abarcando las comprendidas entre los 138 KHz y los 12 MHz:

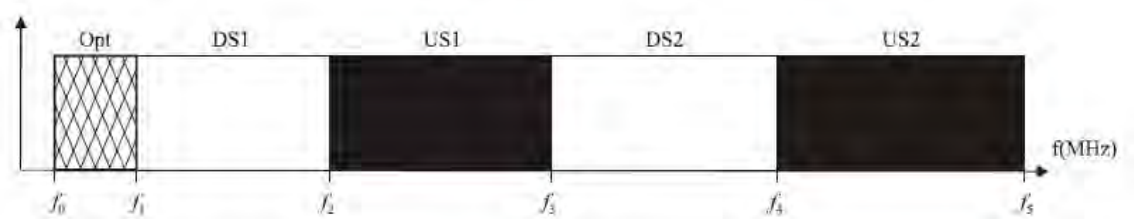


Fig. 5.4 División del espectro de frecuencias en un sistema VDSL

Donde DS1 y DS2 son la primera y la segunda banda correspondientes al sentido descendente, y US1 y US2 la primera y la segunda banda en sentido ascendente.

Existe una banda cuyo uso es opcional entre las frecuencias 25 KHz y 138 KHz.

El ancho de cada una de las cuatro bandas definidas está definido en varios anexos, y su uso en el Anexo de la Recomendación propio de cada región.

Se divide el ancho de banda de esta manera de forma que se soporte la transmisión bidireccional, incluso para los bucles más largos que soportan esta tecnología ya que según aumenta la distancia, las frecuencias más altas se van atenuando dejando de estar disponibles.

- **Plan de bandas A.**

Está definido en el Anexo A de la Recomendación G.993.1 y es utilizado en la región de América del Norte según el Anexo D. La división del espectro se hace según la siguiente figura:

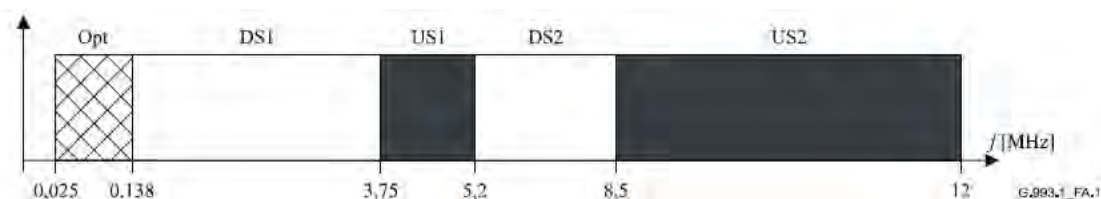


Fig. 5.5 División del espectro de frecuencias en un sistema VDSL (Definido en ITU-T G.993.1 Anexo D)

- **Plan de bandas B.**

Está definido en el Anexo B de la Recomendación G.993.1 y es utilizado en la región de Europa según el Anexo E. La división del espectro se hace según la siguiente figura:



Fig. 5.6 División del espectro de frecuencias en un sistema VDSL (Definido en ITU-T G.993.1 Anexo B)

5.2.1.3. Densidad Espectral de Potencia PSD.

La potencia máxima que un sistema DSL puede transmitir está sujeta a multitud de limitaciones.

En el caso de VDSL, como usa frecuencias hasta los 12 MHz, el nivel de radiación desde el cable de cobre puede interferir en sistemas de radio que usen el mismo rango del espectro. Por esto, la máscara espectral de potencia tiene que ser ajustada para evitar o reducir al máximo estas interferencias.

Además de esto, los sistemas VDSL también se ven afectados por el ruido FEXT, que es la principal fuente de ruido debido a que se trata de bucles cortos, principalmente en la banda de frecuencias usadas exclusivamente por estos sistemas, es decir, por

encima de los 2,2 MHz. La máscara de densidad espectral de potencia tiene que ajustarse para hacer frente a este problema también.

Hay que tener en cuenta también, especialmente en Europa, la coexistencia de sistemas VDSL desde armario con sistemas ADSL desde central. En escenarios en los que existen ambos servicios, los sistemas VDSL desde armario generan niveles significativos de ruido de tipo FEXT sobre la banda de sentido descendente de los sistemas ADSL. Esto requiere que la máscara de PSD de los sistemas VDSL desplegados desde armario, se vea reducida en la banda de frecuencias que comparte con los sistemas ADSL.

Por todas estas consideraciones, se definen varias máscaras de PSD dependiendo del escenario y de la región. Se definen dos tipos de máscaras dependiendo de si existe sistemas de radio, llamadas M1, con un nivel de potencia más bajo que las llamadas M2, que se usan cuando no existen sistemas de radio.

Las máscaras de PSD para sistemas VDSL correspondientes a Europa están definidas por la ETSI.

5.2.1.4. Upstream Power Back-Off

El mecanismo *Upstream Power Back Off*, UPBO consiste en una reducción de la máscara de PSD en el sentido ascendente para optimizar el rendimiento.

En pares de distinta longitud, el bucle más largo se ve severamente afectado por el ruido de tipo FEXT generado por la transmisión del más corto. El UPBO pretende proteger las transmisiones ascendentes de bucles más largos frente a otros de menor distancia, reduciendo, a grandes rasgos, la PSD de la transmisión de bucles cortos.

Para determinar la máscara de PSD permitida en la transmisión, el trasmisor evaluara la llamada longitud eléctrica del bucle, y en función de ella calculara la PSD, sin exceder los valores de la máscara establecida por el estándar correspondiente.

Estos cálculos se realizan durante el proceso de inicialización, y están basados en el nivel de la señal recibida.

5.2.2. VDSL2

5.2.2.1. Introducción

En 2006 la ITU-T aprueba la Recomendación G.993.2 donde se describe la tecnología VDSL2. Con esta evolución se soportan transmisiones simétricas o asimétricas que alcanzan velocidades de datos de hasta 200 Mbps y utilizan un ancho de banda de hasta 30 MHz.

Con esta nueva tecnología se consiguen servicios de muy alta velocidad aprovechando la planta de pares de cobre ya instalada.

5.2.2.2. Mejoras

Algunas de las mejoras introducidas en esta evolución respecto al VDSL1 son:

- **Mecanismo de máscara de PSD controlado por la MIB.** Para cada frecuencia el valor de la PSD será el menor entre el valor límite de la máscara especificada para cada región y la máscara PSD en la MIB, *Management Information Base*, especificada por el proveedor del servicio. Se incluye además un mecanismo para conformar la máscara de PSD en sentido descendente de forma que se permita la coexistencia entre sistemas desplegados desde central y desde armario.
- **Cambios en el funcionamiento de la banda US0.** En VDSL1 el uso de la banda US0 era opcional y podía usarse tanto en sentido ascendente como descendente. En VDSL2 el uso de esta banda es obligatorio en algunos perfiles, y sólo puede ser utilizada en sentido ascendente. Además, la frecuencia superior de esta banda puede extenderse hasta los 276 KHz, usando las máscaras PSD definidas en el Anexo M de la Recomendación G.992.3.
- **Soporte obligatorio de codificación reticular.** El uso de *Trellis Coding* no estaba definido en VDSL1. En VDSL2 es obligatorio soportarlo.

- **Potencia de transmisión máxima en sentido descendente.** En VDSL se establece, para algunos perfiles, transmitir con una potencia máxima de 20.5 dBm, en sentido descendente, cercana a la potencia máxima transmitida en los sistemas ADSL.
- **Mejora en la corrección de errores.** Los sistemas VDSL2 están provistos de mayores capacidades para la corrección de errores en recepción, FEC, como un mayor número de valores para el codificador Reed-Solomon y el intercalador. Además los parámetros de codificación y entrelazado son seleccionados por el receptor, haciendo estos más eficaces.
- **Mejores mecanismos de recuperación.** En VDSL2 se mejoran los mecanismos OLR, *On-Line reconfiguration*, permitiendo al módem cambiar algunos de sus parámetros de modulación y formación de tramas para mantener la calidad del servicio, incluso cuando cambian las condiciones de la línea.
- **Estructura de tramas más eficaz.** La formación de tramas en VDSL2 está basado en la Recomendación G.992.3.
- **Mejoras en el proceso de inicialización.** Se incluyen nuevos estados en la fase de entrenamiento.
- **Modo diagnóstico del bucle.** De la misma forma que en ADSL2, se incluyen secuencias que permiten al módem VDSL2 obtener información sobre el estado de la línea.
- **Entrelazado más eficaz.** Se incluye además la posibilidad de que el módem cambie los parámetros de entrelazado durante la transmisión sin interrumpir la conexión.

5.2.2.3. Planes de bandas

En VDSL2 se definen los siguientes planes de bandas, dependiendo de la región:

- **Región A: América del Norte**

El plan de bandas usado en esta región está definido en el Anexo A de la Recomendación G.993.2 de la ITU-T.

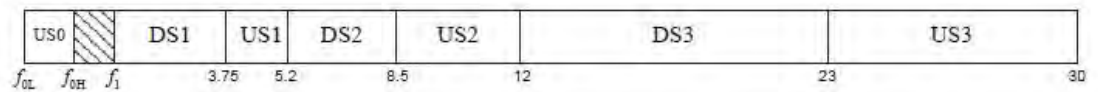


Fig. 5.7 Plan de bandas América del Norte (Definido en ITU-T G.993.2 Anexo A)

Los valores de las frecuencias que limitan la banda US0 son:

f_{0L} : puede variar entre 4Hz si no hay servicio de POTS y 25 KHz si lo hay.

f_{0H} y f_1 : puede variar entre 138 KHz y 276 KHz haciendo uso de las máscaras de PSD definidas en el Anexo M de ADSL2.

- **Región B: Europa**

El plan de bandas para esta región está definido en el Anexo B de la Recomendación G.993.2 de la ITU-T.

Para Europa se definen varios planes de bandas con diversas variaciones que atienden a servicios subyacentes, POTS y RDSI, y diferentes anchuras de la banda US0.

En un primer momento la división de las bandas de frecuencia se definió de la siguiente forma:

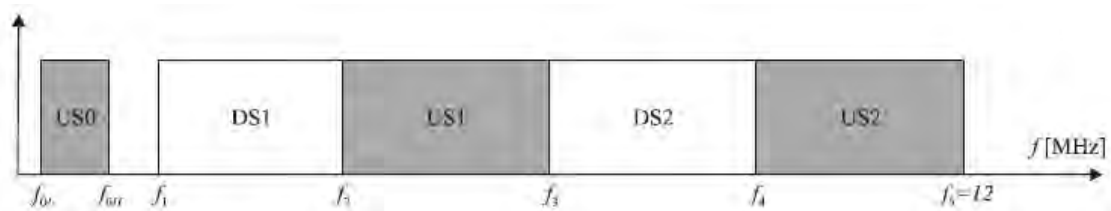


Fig. 5.8 Plan de bandas general (Definido en ITU-T G.993.2 Anexo B)

Y los valores de las frecuencias inferiores y superiores en cada banda estaban definidos en la siguiente tabla:

Plan de bandas	Frecuencias en los extremos de la banda (como se define en el plan de bandas genérico de la figura 7-1)						
	f_{0L} kHz	f_{0H} kHz	f_1 kHz	f_2 kHz	f_3 kHz	f_4 kHz	f_5 kHz
997	25	138	138	3000	5100	7050	12000
	25	276	276				
998	25	138	138	3750	5200	8500	12000
	25	276	276				
	120	276	276				
	N/A	N/A	138				

Tabla 5.1 Valores frecuencias para distintos planes de bandas(Definido en ITU-T G.993.2 Anexo B)

Posteriormente se incluyeron planes de bandas extendidos que alcanzaban hasta los 30 MHz. Las frecuencias se indican en la siguiente tabla:

Band plan	Band-edge frequencies (as defined in the generic band plan in clause 7.1.2)										
	f_{0L} kHz	f_{0H} kHz	f_1 kHz	f_2 kHz	f_3 kHz	f_4 kHz	f_5 kHz	f_6 kHz	f_7 kHz	f_8 kHz	f_9 kHz
	US0		DS1	US1	DS2	US2	DS3	US3		DS4	US4
997	25	138	138	3 000	5 100	7 050	12 000	N/A		N/A	N/A
	25	276	276								
997E17	25	138	138	3 000	5 100	7 050	12 000	14 000		17 664	N/A
997E30	N/A	N/A	138	3 000	5 100	7 050	12 000	14 000		19 500	27 000
	US0		DS1	US1	DS2	US2	DS3	US3		DS4	US4
998	25	138	138	3 750	5 200	8 500	12 000	N/A		N/A	N/A
	25	276	276								
	120	276	276								
	N/A	N/A	138								
998E17	N/A	N/A	138	3 750	5 200	8 500	12 000	14 000		17 664	N/A
	N/A	N/A	276	3 750	5 200	8 500	12 000	14 000		17 664	N/A
998E30	N/A	N/A	138	3 750	5 200	8 500	12 000	14 000		21 450	24 890
	N/A	N/A	276	3 750	5 200	8 500	12 000	14 000		21 450	24 890
	US0		DS1	US1	DS2	US2	DS3	US3			
998ADE17	25	138	138	3 750	5 200	8 500	12 000	17 664		N/A	
	120	276	276								
	25	276	276								
	N/A	N/A	276								

Band plan	Band-edge frequencies (as defined in the generic band plan in clause 7.1.2)										
	f_{0L} kHz	f_{0H} kHz	f_1 kHz	f_2 kHz	f_3 kHz	f_4 kHz	f_5 kHz	f_6 kHz	f_7 kHz	f_8 kHz	f_9 kHz
9	N	N	1	3	5	8	1	2	4	30 000	
	N/A	N/A	276								
					DS2	US2	US3	DS3	US4	DS4	
HPE17	N/A	N/A	N/A	N/A	7050	10 125	12 000	14 000	17 664	N/A	N/A
HPE30	N/A	N/A	N/A	N/A	7050	10 125	12 000	14 000	21 450	24 890	30 000
HPE1230	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	12 000	14 000	21 450	24 890	30 000
HPE1730	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	NA	17 664	21 450	24 980	30 000

Tabla 5.2 Planes de banda extendidos (Definido en ITU-T G.993.2 Anexo B)

- **Region C: Japón**

El plan de bandas para esta región está definido en el Anexo C de la Recomendación G.993.2 de la ITU-T.

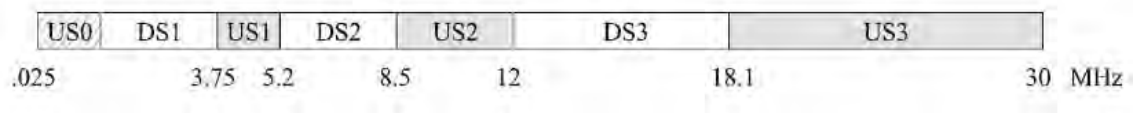


Fig 5.9 Plan de bandas Japón (Definido en ITU-T G.993.2 Anexo C)

5.2.2.4. Perfiles

Para satisfacer las diferentes necesidades de los operadores la normalización de VDSL2 define diferentes perfiles. De esta forma se podría simplificar el diseño de entornos como podían ser redes de bucles cortos que alcanzaran velocidades de 100 Mbps simétricos usando el espectro de frecuencias hasta 30 MHz, o redes que pretendieran mayor alcance con menores velocidades de transmisión, así como aquellas que necesitaran reducir la complejidad para el despliegue del servicio desde armario.

Ante necesidades tan diversas, el estándar define varios perfiles, basándose en los siguientes parámetros:

- **Potencia de transmisión en ambos sentidos, ascendente y descendente:**
Para cada uno de los perfiles se define una potencia de transmisión máxima en cada uno de los sentidos. La potencia de transmisión mínima se deja en estudio.
- **Separación de subportadoras:** Dependiendo del perfil la separación entre portadoras puede ser de 4,3125 KHz o 8,625 KHz.
- **Soporte de la banda cero en sentido ascendente US0:** En algunos perfiles se especifica el uso obligatorio de la banda US0, para aplicaciones que necesitan mayor alcance. El uso de esta banda requiere de canceladores de eco o filtros para separarla del sentido descendente.

- **Capacidad de velocidad de datos:** se definen perfiles que soportan desde 50 Mbps hasta 200 Mbps.
- **Retardo del entrelazador y profundidad de entrelazado máxima:** La memoria necesaria en el entrelazador es dependiente de la profundidad de entrelazado.
- **Número de palabras por símbolo DMT:** Este valor determina la complejidad de la codificación y la formación de tramas.

Para cada uno de los planes de bandas se define además:

- **Índice de la subportadora de datos más alta en ambos sentidos:** Este parámetro determina la frecuencia máxima a la que se requiere que transmita el sistema VDSL.

Se definen ocho perfiles, denominados 8a, 8b, 8c, 8d, 12a, 12b, 17a, 30a.

Frequency plan	Parameter	Parameter value for profile							
		8a	8b	8c	8d	12a	12b	17a	30a
All	Maximum aggregate downstream transmit power (dBm)	+17.5	+20.5	+11.5	+14.5	+14.5	+14.5	+14.5	+14.5
All	Minimum aggregate downstream transmit power (dBm)	For further study	For further study	For further study	For further study	For further study	For further study	For further study	For further study

Frequency plan	Parameter	Parameter value for profile							
		8a	8b	8c	8d	12a	12b	17a	30a
All	Maximum aggregate upstream transmit power (dBm)	+14.5	+14.5	+14.5	+14.5	+14.5	+14.5	+14.5	+14.5
All	Minimum aggregate upstream transmit power (dBm)	For further study	For further study	For further study	For further study	For further study	For further study	For further study	For further study
All	Subcarrier spacing (kHz)	4.3125	4.3125	4.3125	4.3125	4.3125	4.3125	4.3125	8.625
All	Support of upstream band zero (US0)	Required	Required	Required	Required	Required	Regional annex dependent	Regional annex dependent	Not Supported
All	Minimum bidirectional net data rate capability (MBDC)	50 Mbit/s	50 Mbit/s	50 Mbit/s	50 Mbit/s	68 Mbit/s	68 Mbit/s	100 Mbit/s	200 Mbit/s
All	Aggregate interleaver and de-interleaver delay (octets)	65 536	65 536	65 536	65 536	65 536	65 536	98 304	131 072
All	Maximum interleaving depth (D_{max})	2 048	2 048	2 048	2 048	2 048	2 048	3 072	4 096
All	Parameter $(1/S)_{max}$ downstream	24	24	24	24	24	24	48	28
All	Parameter $(1/S)_{max}$ upstream	12	12	12	12	24	24	24	28

Frequency plan	Parameter	Parameter value for profile							
		8a	8b	8c	8d	12a	12b	17a	30a
Annex A (998)	Index of highest supported downstream data-bearing subcarrier (upper band edge frequency in MHz (informative))	1 971 (8.5)	1 971 (8.5)	1 971 (8.5)	1 971 (8.5)	1 971 (8.5)	1 971 (8.5)	4 095 (17.660)	2 666 (23)
	Index of highest supported upstream data-bearing subcarrier (upper band edge frequency in MHz (informative))	1 205 (5.2)	1 205 (5.2)	1 205 (5.2)	1 205 (5.2)	2 782 (12)	2 782 (12)	2 782 (12)	3 478 (30)
Annex B (998E)	Index of highest supported downstream data-bearing subcarrier (upper band edge frequency in MHz (informative))	1 971 (8.5)	1 971 (8.5)	1 971 (8.5)	1 971 (8.5)	1 971 (8.5)	1 971 (8.5)	4 095 (17.660)	3 478 (30)
	Index of highest supported upstream data-bearing subcarrier (upper band edge frequency in MHz (informative))	1 205 (5.2)	1 205 (5.2)	1 205 (5.2)	1 205 (5.2)	2 782 (12)	2 782 (12)	3 246 (14)	2 885 (24.890)

Frequency plan	Parameter	Parameter value for profile							
		8a	8b	8c	8d	12a	12b	17a	30a
Annex B (998 ADE)	Index of highest supported downstream data-bearing subcarrier (upper band edge frequency in MHz (informative))	1 971 (8.5)	1 971 (8.5)	1 971 (8.5)	1 971 (8.5)	1 971 (8.5)	1 971 (8.5)	4 095 (17.660)	2 885 (24.890)
	Index of highest supported upstream data-bearing subcarrier (upper band edge frequency in MHz (informative))	1 205 (5.2)	1 205 (5.2)	1 205 (5.2)	1 205 (5.2)	2 782 (12)	2 782 (12)	2 782 (12)	3 478 (30)
Annex B (997E)	Index of highest supported downstream subcarrier (upper band edge frequency in MHz (informative))	1 634 (7.05)	1 634 (7.05)	1 634 (7.05)	1 634 (7.05)	1 634 (7.05)	1 634 (7.05)	3 246 (14)	3 130 (27)
	Index of highest supported upstream subcarrier (upper band edge frequency in MHz (informative))	2 047 (8.832)	2 047 (8.832)	1 182 (5.1)	2 047 (8.832)	2 782 (12)	2 782 (12)	4 095 (17.660)	3 478 (30)

Frequency plan	Parameter	Parameter value for profile							
		8a	8b	8c	8d	12a	12b	17a	30a
Annex B (HPE)	Index of highest supported downstream subcarrier (upper band edge frequency in MHz (informative))	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	4 095 (17.660)	3 478 (30)
	Index of highest supported upstream subcarrier (upper band edge frequency in MHz (informative))	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3 246 (14)	2 885 (24.890)
Annex C	Index of highest supported downstream subcarrier (upper band edge frequency in MHz (informative))	1 971 (8.5)	1 971 (8.5)	1 971 (8.5)	1 971 (8.5)	1 971 (8.5)	1 971 (8.5)	4 095 (17.660)	2 098 (18.1)
	Index of highest supported upstream subcarrier (upper band edge frequency in MHz (informative))	1 205 (5.2)	1 205 (5.2)	1 205 (5.2)	1 205 (5.2)	2 782 (12)	2 782 (12)	2 782 (12)	3 478 (30)

Tabla 5.3 Perfiles definidos en ITU-T G.993.2

La Recomendación no impone ninguna restricción en cuanto al perfil a utilizar en ningún escenario, sin embargo, los perfiles 8a, 8b, 8c, 8d, 12a y 12b fueron diseñados pensando en despliegues desde central o desde armario, donde la longitud del bucle es mayor. El perfil 17a es útil en instalaciones donde la longitud del bucle es suficientemente corta como para poder usarse frecuencias por encima de los 12 MHz, así como el 30a para aquellos que puedan soportar el uso de frecuencias de hasta 30 MHz.

Los sistemas VDSL2 tienen que soportar al menos uno de los perfiles, y pueden soportar varios o todos ellos.

5.2.2.5. Máscara espectral de potencia

En el Anexo B de la Recomendación, correspondiente a la región Europa, se definen varias máscaras de densidad espectral. La diferencia entre ellas viene dada por el plan de bandas y el tipo de USO utilizado. Se recogen en la siguiente tabla:

Short name	Limit PSD mask (Long name)	Frequency	
		USO type A/B/M (Note)	Highest used upstream or downstream frequency (kHz)
B7-1	997-M1c-A-7	A	7 050
B7-3	997-M1x-M	M	12 000
B7-7	HPE17-M1-NUS0	N/A	17 664
B7-8	HPE30-M1-NUS0	N/A	30 000
B7-9	997E17-M2x-A	A	17 664
B7-10	997E30-M2x-NUS0	N/A	30 000
B7-11	HPE1230-M1-NUS0	N/A	30 000
B7-12	HPE1730-M1-NUS0	N/A	30 000

Short name	Limit PSD mask (Long name)	Frequency	
		USO type A/B/M (Note)	Highest used upstream or downstream frequency (kHz)
B8-1	998-M1x-A	A	12 000
B8-2	998-M1x-B	B	12 000
B8-3	998-M1x-NUS0	N/A	12 000
B8-4	998-M2x-A	A	12 000

B8-5	998-M2x-M	M	12 000
B8-6	998-M2x-B	B	12 000
B8-7	998-M2x-NUS0	N/A	12 000
B8-8	998E17-M2x-NUS0	N/A	17 664
B8-9	998E17-M2x-NUS0-M	N/A	17 664
B8-10	998ADE17-M2x-NUS0-M	N/A	17 664
B8-11	998ADE17-M2x-A	A	17 664
B8-12	998ADE17-M2x-B	B	17 664
B8-13	998E30-M2x-NUS0	N/A	30 000
B8-14	998E30-M2x-NUS0-M	N/A	30 000
B8-15	998ADE30-M2x-NUS0-M	N/A	30 000
B8-16	998ADE30-M2x-NUS0-A	N/A	30 000
B8-17	998ADE17-M2x-M	M	17 664

Tabla 5.4 Máscaras espectrales de potencia definidas en ITU-T G.993.2

5.3. Perfiles VDSL2 utilizados en España

El plan de bandas elegido por las operadoras españolas es el 998, debido a que es el que da mayor peso al canal *downstream* frente al *upstream*.

Para los despliegues desde central se utiliza el perfil 8b y para los despliegues realizados desde nodo remoto se utiliza el perfil 17a que, como se ha comentado anteriormente, fue diseñado para utilizarlo en bucles cortos.

5.4. Regulación en España.

5.4.1. Telefónica como operador con poder significativo.

El primer operador en introducir señales VDSL2 en España fue Telefónica. Para ello fue necesaria la realización de pruebas en laboratorio, así como pruebas piloto con clientes reales.

Se llevaron a cabo reuniones en las que estuvieron presentes miembros de los distintos operadores que actúan en España y de la CMT, con el objetivo, entre otros, de asegurar que la introducción de señales de esta naturaleza no interferían en las ya desplegadas.

La evaluación de los resultados y conclusiones de las pruebas realizadas por Telefónica dio como resultado la modificación de la OBA para incluir las nuevas modalidades de acceso, y la modificación del Plan de Gestión del Espectro de la OBA para el despliegue de señales xDSL en el subbucle. Ambas modificaciones quedan reflejadas en sus respectivos documentos de la CMT.

El documento de modificación de la OBA tiene como objetivo establecer las modificaciones para incluir las nuevas modalidades de acceso indirecto basados en tecnología VDSL2, y determinar si las ofertas minoristas presentadas por Telefónica son replicables por el resto de operadoras. En este punto la CMT tiene la siguiente responsabilidad, recogida en la Ley General de Telecomunicaciones, “la Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones tendrá por objeto el establecimiento y supervisión de las obligaciones específicas que hayan de cumplir los operadores en los mercados de telecomunicaciones y el fomento de la competencia en los mercados de los servicios audiovisuales, conforme a lo previsto por su normativa reguladora, la resolución de conflictos entre los operadores y, en su caso, el ejercicio como órgano arbitral de las controversias entre los mismos”. La CMT podrá determinar la información concreta que deberán contener las ofertas, el nivel de detalle exigido y la modalidad de su publicación o puesta a disposición de las partes interesadas, habida cuenta de la naturaleza y propósito de la información en cuestión. La CMT podrá también introducir cambios en las ofertas de referencia para hacer efectivas estas obligaciones.

A Telefónica como operador con poder significativo en ambos mercados, se le impone un conjunto de obligaciones:

- Obligación de proporcionar a todos los operadores, y a precios regulados, servicios mayoristas tanto de acceso completamente desagregado y parcialmente desagregado, como de acceso de banda ancha.
- Obligación de transparencia en la presentación de ambos servicios mayoristas estando obligada a la publicación de una Oferta de Referencia para la prestación de ambos servicios mayoristas suficientemente desglosada para garantizar que no se exija pagar por recursos que no sean necesarios.

- Obligación de no discriminación en las condiciones de los servicios mayoristas de acceso de banda ancha y de acceso al bucle de abonado.

En desarrollo de estas obligaciones, en particular en relación con el acceso indirecto al bucle de abonado, la CMT aprobó la revisión de la Oferta de Referencia de Servicios Mayoristas de Banda Ancha de Telefónica, cuyas modificaciones se concretaron en una nueva versión del documento de la OBA.

5.4.2. Plan de Gestión del Espectro. Conformado espectral.

La aprobación de las reglas de despliegue de un determinado tipo de señal en el Plan de Gestión del Espectro de la OBA es un paso previo para la introducción de dicha señal en la planta por parte de cualquier operador

Telefónica solicita a la CMT la realización de la prueba piloto con tecnología VDSL2 debido a la necesidad de verificar aspectos de interfuncionamiento, compatibilidad e integración con la red existente, así como las condiciones de uso y de compatibilidad electromagnética entre las señales de diferentes tecnologías susceptibles de coexistir en los cables de pares.

También solicita la modificación de los niveles de calidad y reglas de penetración de la señal VDSL2 definidos en el Plan de Gestión del Espectro de la OBA, al considerar que los niveles de calidad y reglas de penetración de la señal estandarizada VDSL2 definidas eran muy restrictivas para la introducción de este tipo de señales y poder explotar todas las prestaciones que dicha tecnología permite ofrecer.

En su escrito Telefónica solicita también que se contemple en el PGE de la OBA la introducción de señales VDSL2 desde nodos desplegados desde subbucle. Los niveles de calidad y reglas de penetración aplicables a las señales VDSL2 introducidas desde nodos desplegados en el subbucle, propuestos por Telefónica, serían los mismos definidos para los despliegues desde central. Si bien ambas señales compartirían un mismo plan de bandas, 998, para la introducción de VDSL2 desde nodo remoto, propone la utilización del perfil 17a de 17 MHz con máscara espectral B8-10 y B8-11.

Asimismo, para el despliegue desde nodo remoto, puesto que éste se hace compartiendo el mismo cable con servicios xDSL desde central, propone la aplicación del procedimiento de conformado espectral establecido al respecto en las Recomendaciones G.993/G.997.1, que permite igualar el espectro de la señal VDSL2 introducida en el nodo con el de las señales xDSL provenientes de la central y que llegan atenuadas.

Según Telefónica, del análisis de las pruebas y los resultados aportados se concluye que ni la velocidad de sincronización ni los márgenes de ruido de las señales xDSL desplegadas desde central y que comparten cable con los pares incluidos en la prueba piloto, han sufrido variaciones motivadas por la introducción de las señales VDSL2 en el nodo que intercepta cables de pares. Sin embargo, no se aportan datos específicos sobre las condiciones para el despliegue de la señal VDSL2 en el subbucle, como las máscaras de conformado espectral que deben ser aplicadas.

Durante el tiempo que duró la prueba piloto, se mantuvieron reuniones con los distintos operadores, a la que también asistieron los servicios técnicos de la CMT. En ellas se explicaron los detalles de la prueba y se compartieron los resultados obtenidos, tanto de las pruebas de laboratorio como de la prueba piloto. Se acordó un procedimiento conjunto de control de la calidad de las señales desplegadas. Como consecuencia de dicha colaboración, Telefónica envió periódicamente información de los nodos en los que se había insertado señal VDSL2 en el contexto de la prueba, con indicación de los pares de los distintos operadores que pudieran verse afectados, al objeto de que dichos operadores pudieran realizar también las medidas oportunas acordadas en el procedimiento, para certificar si existía una merma de la calidad a causa de las posibles interferencias consecuencia de la señal VDSL2 insertada.

La CMT aprobó la modificación del PGE de la OBA para la modificación de las reglas de despliegue de la señal VDSL2 desde central, estableciendo los planes de banda y máscaras de PSD que pueden desplegarse, así como unos niveles de calidad mayores y una penetración de hasta el 100% de los pares, equiparándola con las señales de ADSL. Determinándose también que la señal VDSL2 desplegada en el subbucle deberá ser espectralmente compatible con el resto de señales VDSL2 desplegadas tanto en central como en subbucle para minimizar las interferencias. Por tanto, todas ellas deben utilizar un mismo tipo fundamental de plan de banda.

Planes de banda utilizados: Todos los planes de banda disponibles para VDSL2 han sido definidos convenientemente para ser también espectralmente compatibles con las señales ADSL, ADSL2 y ADSL2+ desplegadas con anterioridad en la planta de pares. En el despliegue de VDSL2 en el subbucle, los planes de banda susceptibles de ser utilizados son los mismos que los establecidos previamente en el despliegue de la señal desde central, es decir, 998 y 998ADE17. Este segundo plan es el propuesto por Telefónica para el despliegue en subbucle.

Máscaras de PSD utilizadas: La introducción de una señal en el subbucle implica la modificación de la PSD emitida para evitar interferencias en las señales desplegadas desde central. Las máscaras de PSD así como las potencias máximas agregadas transmitidas definidas en la Recomendación ITU-T G.993.2 para VDSL2 son sólo válidas cuando las señales son emitidas desde la central.

Efectivamente, cuando la señal es introducida en un par desde un nodo ubicado en un punto intermedio entre la central y el domicilio del usuario, si se emitiese con la máxima potencia admitida por la norma, el ruido que se generaría debido a la diafonía en los pares adyacentes sería muy interferente sobre las posibles señales xDSL introducidas en dichos pares desde la central, puesto que el nivel de éstas habría disminuido sensiblemente debido a la atenuación introducida por el par de cobre entre la central y el nodo.

Por consiguiente, para permitir la introducción de la señal VDSL2 en el subbucle, la norma G.993.2 junto con la norma G.997.1 especifican el procedimiento de conformado espectral de la PSD emitida cuando una señal es introducida en el subbucle.

Debe definirse que la máscara calculada pueda extenderse hasta la frecuencia más alta utilizada por los diferentes tipos de señal xDSL desplegadas desde central.

Como resultado de la aplicación del procedimiento se obtiene una máscara de PSD que será la emitida por el equipo desplegado en el subbucle. Dicha máscara, en las bandas de frecuencia coincidentes con las bandas que se han considerado que contienen

señal útil de los servicios xDSL introducidos desde central, emitirá con una potencia máxima equivalente a dicho nivel de señal útil o como mínimo con un nivel de -91dBm.

La propuesta de Telefónica para el despliegue de la señal VDSL2 en el subbucle señala que el plan de bandas que se utilizará será el 998ADE17, y el perfil el 17a con máscaras espectrales según B8-10 y B8-11, conformadas siguiendo el procedimiento definido en la Recomendación G.997.1 para minimizar las interferencias.

El resto de operadores, independientemente de la propuesta de Telefónica, pueden utilizar cualquier perfil y máscara de potencia definidas para el despliegue desde central. No obstante, todas las máscaras PSD deben ser convenientemente modificadas con un conformado espectral según el procedimiento definido en la Recomendación G.997.1.

5.5. Mejoras

A pesar de que está claro que el futuro de las redes de acceso está en la fibra hasta el hogar, FTTH, todavía es muy rentable para las operadoras seguir utilizando tecnologías que exploten el par de cobre. Los cientos de millones de hogares en el mundo a los que llegan cables de cobre hace que el uso de tecnologías de acceso xDSL sea una forma más barata de aprovechar esta planta ya instalada, mientras se extiende poco a poco el uso de accesos FTTH ya que la implantación de accesos de fibra hasta el hogar es muy caro para las operadoras.

Por todo esto, el desarrollo de nuevas tecnologías que permitan seguir ofreciendo servicios de banda ancha sobre la infraestructura de pares de cobre desarrollada hace años seguirá existiendo por un tiempo.

Para conseguir mayores velocidades sobre accesos basados en el par de cobre, se puede trabajar en tres direcciones:

- Reducir el ruido producido por la diafonía entre los pares con tecnologías llamadas *vectoring*.

- Incrementar el número de canales de transmisión en cada acceso, ya sean canales físicos como en la tecnología *bonding*, o canales virtuales como en la tecnología *phantom*.
- Incrementar el ancho de banda utilizado hasta frecuencias de 30 MHz, aunque esté limitado a bucles muy cortos.

5.5.1. VDSL2 Vectoring

Esta tecnología permite aumentar la capacidad ofrecida por VDSL2, normalmente mermada por la influencia de la diafonía. Menos diafonía significa mayor relación señal a ruido aumentando significativamente la capacidad ofrecida.

Haciendo una estimación de la diafonía sufrida por el par, se puede compensar el ruido de cada línea, de forma semejante a los canceladores de ruido que eliminan el ruido ambiental en unos auriculares.

5.5.2. Phantom Mode

Esta tecnología se basa en la creación de un tercer canal virtual sobre dos pares de cobre normales. Combinada con *vectoring* para eliminar la diafonía y *bonding* para crear un mayor canal DSL se pueden alcanzar velocidades de hasta casi 400 Mbps en bucles cortos. Esta velocidad se puede aumentar usando mayor número de canales físicos que permiten la creación de más canales virtuales.

La creación del nuevo canal virtual, se hace viendo cada uno de los dos pares de cobre que forma el acceso, como uno de los componentes de un nuevo par. Por tanto, el nuevo canal consiste en un par de pares débilmente trenzado, o incluso sin trenzar. Esto lo hace muy vulnerable a todo tipo de ruidos presentes en la línea. El nivel de radiación electromagnética que producen también es mayor. Por estos motivos es necesario combinar esta tecnología con otras que minimicen el efecto del ruido, como el *vectoring*.

5.5.3. Agrupación de múltiples pares (*Bonding*)

Esta tecnología está basada en el uso de más de un par de cobre en cada uno de los accesos DSL. El aumento de la velocidad de sincronismo en relación con el número de pares añadidos no es lineal, debido al ruido producido por la diafonía, a no ser que se combine con técnicas *vectoring*.

5.6. Resumen

La tecnología VDSL2 es la más moderna de las tecnologías xDSL implantada con el objetivo de seguir aprovechando al máximo la capacidad ofrecida por el par de cobre.

En España el primero operador en desplegar líneas con esta tecnología fue Telefónica, que es el operador con poder significativo. Para ello, fueron necesarias pruebas de compatibilidad con las señales ya desplegadas en la planta de pares de cobre española, cuyos resultados fueron examinados por el resto de operadores así como por la CMT, organismo regulador.

Todavía en la actualidad, a pesar de que ya se han comenzado a desplegar accesos que usan tecnología FTTH, llevando fibra óptica hasta el hogar, se investigan nuevas tecnologías que permitan seguir explotando el par de cobre. De momento es más barato y más rentable para las operadoras seguir usando una infraestructura ya instalada desde hace muchos años, porque los accesos FTTH suponen unos costes muy elevados.

6. AGRUPACIÓN DE MÚLTIPLES PARES (*Bonding*)

6.1. *Introducción*

La tecnología *bonding* permite usar múltiples pares juntos en un único acceso, permitiendo obtener un ancho de banda mayor de una forma dinámica y flexible. Suele ser utilizada para servicios triple-play residencial así como servicios simétricos de alta velocidad.

La velocidad de transmisión de datos que una línea DSL puede alcanzar está limitada por la topología y por el ruido presente en la línea, principalmente, por lo que la capacidad ofrecida por un único par puede no ser suficiente para el servicio requerido. En estos casos, la agrupación de pares se puede usar, combinando el flujo de datos de varias líneas DSL en un único flujo agregado, incrementando la velocidad de transmisión de datos.

Muchas de las diferentes tecnologías DSL permiten una velocidad adaptable a las condiciones de la línea y pueden sincronizar automáticamente a la máxima velocidad posible dependiente de las condiciones del bucle, por lo que es conveniente que las soluciones de agrupación de pares permitan que los pares usados para formar un acceso puedan tener velocidades diferentes.

La ITU-T ha normalizado tres métodos distintos:

1. DSL *bonding* basado en ATM
2. DSL *bonding* basado en Ethernet
3. TDIM: multiplexación inversa por división en el tiempo.

Para agrupar pares que funcionan a diferentes velocidades, es necesario definir cuatro funciones básicas:

- Segmentación: el flujo de datos agregado es dividido en varios fragmentos.
- Tramas: número de bits de cabecera usados para formar las tramas.
- Secuenciación: es necesario una etiqueta para cada fragmento que sirva para reconstruir el flujo.

- Reconstrucción: recepción en de fragmentos para formar el flujo de datos agregado.

6.2. Bonding basado en ATM

6.2.1. Introducción

A pesar de que actualmente las redes de la mayoría de los operadores están basadas en el protocolo IP, la mayor parte del equipamiento en la parte del acceso está basado en ATM, especialmente en los accesos ADSL, ya que en la normalización de los mismos asume que el protocolo ATM es usado en entre el DSLAM y el CPE.

La tecnología ATM *bonding* solo requiere el uso de ATM en el acceso DSL, por lo que puede usarse aunque el resto de la red no esté basada en este protocolo.

La primera normalización de esta tecnología, por el ATM fórum, obligaba a que las líneas que componían el grupo a funcionar a la misma velocidad de sincronismo. Usaba un procedimiento de *round-robin* para alojar las celdas que provenían de líneas diferentes en el grupo, por lo que no se requería información específica de secuencia para re-ensamblar el flujo original.

Posterior estandarizaciones, como la Recomendación G.998.1 de la ITU-T permitía la agrupación de líneas que funcionaban a distintas velocidades. Debido a que el protocolo ATM contempla las funciones de segmentación, únicamente era necesario introducir una función de secuenciación.

6.2.2. Cabeceras

Las celdas ATM, de 53 bytes, tienen una cabecera de 5 bytes de los que 3 son utilizados para identificar el canal virtual. El estándar que describe la tecnología *bonding* basada en ATM redefine las cabeceras ATM para que alguno de los bits antes

innecesarios incluyan información de secuencia sin necesidad de aumentar el tamaño de la cabecera de las celdas ATM.

El identificador de secuencia, SID, puede ocupar 8 o 12 bits. Los últimos 8 bits del campo VCI de una celda ATM son utilizados para el SID en ATM-*bonding*. En el caso de los SID de 12 bits los 4 bits del campo de control de flujo corresponderían a los últimos 4 bits del campo SID.

La tecnología *bonding* basada en ATM es capaz, entonces, de utilizar la infraestructura ATM y trabajar con los transceptores DSL existentes.

6.2.3. Mensajes de información de estado

Existe un protocolo de control mediante el cual ambos lados intercambian mensajes de información o ASM (*Autonomous Status Message*), formados por una única celda, usados durante las distintas fases. En la fase de inicialización son usados para determinar los links que formaran el grupo. Durante la transmisión de datos la calidad de cada uno de los enlaces es monitorizada y su estado se comunica al transmisor. Si el estado de alguno de los enlaces se viera deteriorado, estos mensajes de estado se pueden usar para comunicar al transmisor que deje de utilizarlo en la comunicación.

Los enlaces que han dejado de transmitir debido a una caída en la calidad, siguen siendo monitorizados, y si se restablece el transmisor será informado de que puede volver a utilizarlo para transmitir información.

Los mensajes ASM se envían normalmente una vez por segundo en cada link. Si es necesaria la notificación urgente del estado de alguno de los enlaces, se puede enviar en cualquier momento.

6.2.4. Funcionamiento

La siguiente figura muestra el esquema de funcionamiento de la tecnología *bonding* basada en ATM.

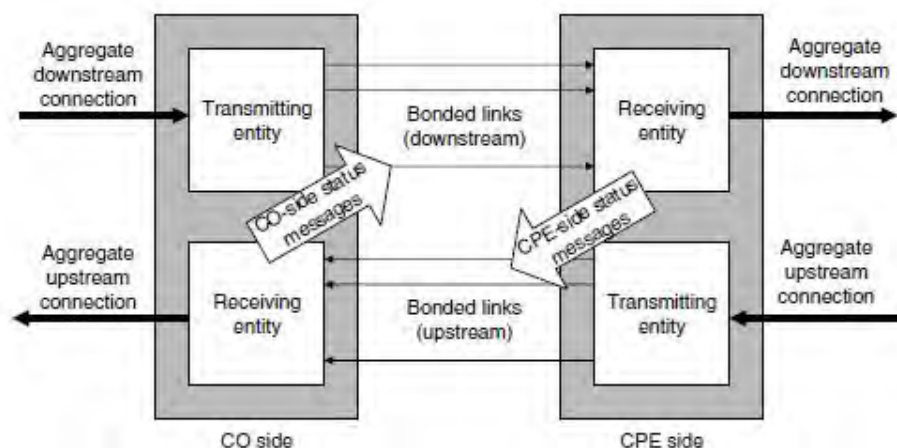


Fig. 6.1 Esquema funcionamiento bonding basado en ATM

El transmisor recibe el flujo completo a transmitir, e inserta el identificador de secuencia a cada cabecera antes de distribuir las celdas a cada uno de los links que forman el grupo para ser transportadas hacia el CPE.

El receptor reconstruye el flujo original a partir de la información de secuencia incluida en las celdas de cada uno de los flujos individuales que recibe.

Es importante minimizar las diferencias en el retardo de la transmisión entre los diferentes enlaces que componen el grupo. Diferencias significativas en estos retardos deben ser compensadas con almacenamiento en memorias intermedias (*buffering*) lo que provoca que disminuyan los SID disponibles. Por esto, se especifica una tolerancia mínima, correspondiente al *bonding*, en la fase de negociación, que condiciona los retardos mínimos en cada uno de los enlaces del grupo.

6.3. Bonding basado en PTM

6.3.1. Introducción

El modo basado en Ethernet supone una capa de convergencia basada en PTM, modo de transferencia de paquetes, basada en un esquema de encapsulación conocido como 64/65B, usado en EFM (*Ethernet in the First Mile*)

6.3.2. Ventajas

Comparado con otras tecnologías, el uso de mecanismos de agrupación basados en transporte Ethernet, definidos en G.998.2, supone los siguientes beneficios:

- Soporta pares a diferentes velocidades: uno de los principales beneficios introducidos primero por agrupación basada en Ethernet, que más tarde fue extendida a otros mecanismos, es que los pares usados para formar el grupo pueden funcionar a diferentes velocidades. Permitiendo sacar el máximo partido al ancho de banda ofrecido por cada uno de los pares de forma individual.
- Uso de cabeceras más pequeñas: La agrupación de pares usando tecnología Ethernet usa una cabecera muy pequeña para la fragmentación, dos octetos, que para fragmentos de 512 octetos supone menos del 0,4%. Si lo comparamos con tecnologías anteriores, como ATM, donde las cabeceras suponen cerca del 20% del tráfico, es insignificante.
- Manejo dinámico de pares nuevos o pares no validos: usando la agrupación basada en Ethernet se pueden añadir nuevos pares en un grupo sin causar un corte en la línea. Del mismo modo, líneas con fallos pueden ser rápidamente detectadas y eliminadas del grupo, con un tiempo de corte de apenas 50ms.
- Algoritmos de transmisión flexibles optimizados para diferentes aplicaciones: la agrupación basada en Ethernet puede ser diseñada para minimizar las cabeceras o la latencia, o encontrar un equilibrio entre ambas. Esta flexibilidad permite diseñar algoritmos de agrupación óptimos para las aplicaciones requeridas.

- Ethernet puro: en cada vez más compañías la tendencia es evolucionar a redes Ethernet/IP puras, eliminando la complejidad que supone el uso de ATM y TDM infraestructuras.

6.3.3. Funcionamiento

Las funciones realizadas se pueden dividir en cuatro:

6.3.3.1. Definición de grupo

Es importante controlar la diferencia entre las distintas latencias o retardos entre los enlaces. Cuanto mayor sea esta diferencia, mayor cantidad de memoria será necesaria en el receptor para poder reconstruir la trama original, añadiendo a su vez un retardo mayor al flujo de tráfico. La diferencia entre las distintas latencias depende principalmente de los siguientes factores:

- . Velocidad de los pares, que puede ser distinta en cada uno de los pares que componen el grupo.

- . Distancia, el grupo puede estar compuesto de pares cuya distancia sea diferente, lo que supone una diferencia en la capacidad de transmisión de cada uno.

- . Parámetros de codificación, el retardo en los enlaces está también condicionado a la complejidad en las técnicas de codificación.

La diferencia de latencia entre dos líneas se define como el número de bits que la más rápida puede transmitir en el mismo tiempo en el que la más lenta transmite un fragmento de 512 octetos.

La tecnología *bonding* basada en Ethernet establece una restricción en la diferencia entre las características de los pares que el grupo de enlaces puede tolerar:

- . La diferencia de latencia no puede superar los 15000 tiempos de bits, donde un tiempo de bit es el tiempo requerido para enviar un bit por la línea de velocidad más baja.

. La diferencia entre la velocidad de sincronismo no puede ser mayor de cuatro veces. Es decir, que una línea del grupo puede sincronizar como mucho, a cuatro veces más velocidad que otra del mismo grupo.

. No puede haber más de 32 pares en el mismo grupo.

6.3.3.2. Fragmentación

La transmisión de tramas pertenecientes a un mismo flujo a través de varios bucles independientes se realiza añadiendo una cabecera de fragmentación en cada una de ellas, que incluye un número de secuencia, así como otros marcadores de trama. Con la información incluida en esta cabecera, el receptor reensambla la trama original a partir de los fragmentos que recibe.

El algoritmo para la fragmentación no está especificado, por lo que cada uno de los fabricantes puede desarrollar uno propio, atendiendo a las características que prefiera. Sin embargo, existen ciertas reglas en cuanto al tamaño de los fragmentos que se deben cumplir, deben ser de entre 64 y 512 octetos, sin contar la cabecera.

6.3.3.3. Reensamblado

Los fragmentos recibidos son almacenados en una cola propia de la línea desde la que se reciben. El proceso en el receptor del grupo espera a recibir el fragmento con el siguiente número de secuencia para formar la trama en cualquiera de los pares que lo forman.

Además del número de secuencia, los fragmentos llevan información que indica si es o no el primero o el último paquete de la trama. Una vez formada la trama se calcula la suma de verificación y, si es correcta, se envía al nivel superior.

6.3.3.4. Inicialización

Durante la fase de negociación, definido en la Recomendación de la ITU-T G.994.1, de la secuencia de inicialización de una línea xDSL, los dispositivos deciden que pares pertenecen al mismo grupo.

6.4. Resumen

La tecnología *bonding* basada en ATM provee un mecanismo para aumentar la velocidad de sincronismo ofrecida por los sistemas DSL, usando prácticamente el mismo equipamiento de red, debido a que muchos de los sistemas DSL utilizan ATM entre el DSLAM y el CPE. Es lo suficientemente flexible para permitir agrupar pares que funcionen a distintas velocidades de sincronismo, y además, reutiliza bits no útiles de las cabeceras de las celdas ATM, por lo que no añade bits a dichas cabeceras.

La tecnología *bonding* basada en Ethernet está diseñada para redes puramente en Ethernet, IP e infraestructuras MPLS. Esta tecnología permite a los operadores desarrollar servicios de alta velocidad simétricos, o servicios *triple-play* que necesitan un gran ancho de banda en sentido *downstream*, usando las redes de acceso DSL.

7. VDSL2 *Bonding*. Estudio de Rendimiento

7.1. *Objetivo*

El objetivo del estudio es establecer las posibles ventajas e inconvenientes que el uso de VDSL2 *Bonding* ofrece desde un punto de vista comercial. Para ello se comparará las mejoras en la velocidad conseguidas con la agrupación de pares configurados con los mismos perfiles de línea que los usados en los escenarios de un solo par.

Se estudiarán las ventajas e inconvenientes atendiendo, sobre todo, a la velocidad de sincronismo y distancias alcanzadas en los distintos escenarios, así como su respuesta frente al ruido que pueda estar presente en la línea.

7.2. *Equipamiento*

El equipamiento necesario para realizar las pruebas de rendimiento de líneas ADSL2+, VDSL2 y VDSL2 *Bonding* es el siguiente:

- DSLAM VDSL2 Huawei MA5600T
 - Tarjeta de línea multiDSL (soporta VDSL2 *bonding*)
- CPE MultiDSL Comtrend (soporta VDSL2 *bonding*)
- Simulador de bucle modelo 458-3SL de Telebyte
 - Módulo de línea 458-LM-E1-30-04
- Simulador de ruido modelo 4901 de Telebyte
 - 2 Tarjetas AWG con dos canales independientes cada una
 - Inyectores de ruido modelo 4901-D1

7.3. *Fuentes de ruido*

En toda línea de comunicación, están presentes señales interferentes, que dificultan la emisión y recepción de señales. Ejemplos de señales que se suelen estudiar son:

- Ruido blanco gaussiano (AWGN)
- Diafonía o *crosstalk*
- Ruido impulsivo
- Micro-interrupciones
- Interferencia por radiofrecuencia

El simulador de línea no debe producir ninguna de estas interferencias. La principal dificultad sería no generar un ruido AWGN bajo para no interferir en las pruebas.

El ruido generado para un par ideal es alrededor de -170 dBm/Hz a frecuencias por encima de los 100 KHz, que es el valor del ruido térmico generado por la impedancia característica del bucle. En la práctica, el ruido de fondo en la central, así como en el extremo remoto no es tan bajo como -170 dBm/Hz, por lo que en las pruebas se aplica un AWGN con una máscara de potencia de -140 dBm/Hz. Este ruido se aplica siempre, por lo que una línea ideal se considera aquella a la que solo se le añade este tipo de ruido.

El ruido provocado por el simulador debe ser lo suficientemente bajo como para no incrementar las señales interferentes añadidas en las pruebas. Además de que el entorno en el que se desarrollan las pruebas debería estar también libre de interferencias externas. Este tipo de entornos son difícilmente alcanzables, por lo que se asumen pérdidas por interferencias externas en entornos de pruebas no ideales.

En los sistemas DSL, el tipo de ruido que afecta de manera predominante es la diafonía provocada por otros sistemas DSL vecinos, el llamado *crosstalk*. El *crosstalk* provoca una pérdida de potencia de la señal del canal DSL afectado debido al acoplamiento entre pares pertenecientes a un mismo cable. El efecto de *crosstalk* empeora en función de la longitud del cable y de la frecuencia y es peor entre pares adyacentes.

Para dos pares en un mismo cable, la función de acoplamiento es constante en el tiempo, y además es simétrica, por lo que la misma función de acoplamiento se puede

observar en ambos extremos medida en cualquier dirección. No hay relación en la función de acoplamiento entre distintos pares de un mismo cable.

Debido a la complejidad de las funciones de acoplamiento, así como a su carácter impredecible, en la práctica se usan modelos simplificados.

El ruido impulsivo se caracteriza por pulsos cortos de una cierta energía, capaz de causar pérdidas en la potencia de la señal objeto de estudio. No se pueden predecir los efectos del ruido impulsivo, por lo que su simulación en las pruebas de laboratorio no es útil.

Las fuentes de ruido introducidas durante las pruebas en laboratorio para el estudio de rendimiento serán ruido blanco y diafonía principalmente. En el siguiente apartado se describen los modelos de ruido aplicados.

7.4. *Diseño de pruebas*

En los siguientes apartados se describen tanto los perfiles de línea que se usaran en las pruebas, como las fuentes de ruido que se aplicaran en cada uno de los escenarios.

Para la elección de los perfiles se ha tenido en cuenta las velocidades de conexión que se suelen ofrecer en España por las distintas operadoras.

En el caso de los modelos de ruidos definidos se han elegido aquellos que empíricamente se acercan más a las situaciones medidas en líneas reales.

7.4.1. Perfiles ADSL2+

7.4.1.1. Perfil sin límite de velocidad y Anexo M

Profile index : 24	Name: ADSL-NoLi mi tado	
ADSL transmission mode		: All (G992. 1~5, T1. 413)
Trellis mode		: Enable
Upstream channel bit swap		: Enable
Downstream channel bit swap		: Enable

```

Channel mode : Interleaved
Maximum downstream interleaved delay(ms) : 32
Maximum upstream interleaved delay(ms) : 16
Target downstream SNR margin(dB) : 6
Maximum acceptable downstream SNR margin(dB) : 31
Minimum acceptable downstream SNR margin(dB) : 6
Target upstream SNR margin(dB) : 6
Maximum acceptable upstream SNR margin(dB) : 31
Minimum acceptable upstream SNR margin(dB) : 6
Downstream SNR margin for rate downshift(dB) : 0
Downstream SNR margin for rate upshift(dB) : 0
Upstream SNR margin for rate downshift(dB) : 0
Upstream SNR margin for rate upshift(dB) : 0
Minimum upshift time in downstream(seconds) : 0
Minimum downshift time in downstream(seconds) : 0
Minimum upshift time in upstream(seconds) : 0
Minimum downshift time in upstream(seconds) : 0
Downstream form of transmit rate adaptation : Adapting at startup
Minimum transmit rate downstream(Kbps) : 32
Maximum transmit rate downstream(Kbps) : 32000
Minimum transmit rate upstream(Kbps) : 32
Maximum transmit rate upstream(Kbps) : 6000
-----

```

7.4.1.2. Perfil limitado a 20 Mbps/1 Mbps

```

-----
Profile index : 3      Name: ADSL-20M/1M
ADSL transmission mode : Full rate(G992.1/3/5, T1.413)
Trellis mode : Enable
Upstream channel bit swap : Enable
Downstream channel bit swap : Enable
Channel mode : Interleaved
Maximum downstream interleaved delay(ms) : 32
Maximum upstream interleaved delay(ms) : 16
Target downstream SNR margin(dB) : 6
Maximum acceptable downstream SNR margin(dB) : 31
Minimum acceptable downstream SNR margin(dB) : 6
Target upstream SNR margin(dB) : 6
Maximum acceptable upstream SNR margin(dB) : 31
Minimum acceptable upstream SNR margin(dB) : 6
Downstream SNR margin for rate downshift(dB) : 0
Downstream SNR margin for rate upshift(dB) : 0
Upstream SNR margin for rate downshift(dB) : 0
Upstream SNR margin for rate upshift(dB) : 0
Minimum upshift time in downstream(seconds) : 0
Minimum downshift time in downstream(seconds) : 0
Minimum upshift time in upstream(seconds) : 0
Minimum downshift time in upstream(seconds) : 0
Downstream form of transmit rate adaptation : Adapting at runtime
Minimum transmit rate downstream(Kbps) : 32
Maximum transmit rate downstream(Kbps) : 20480
Minimum transmit rate upstream(Kbps) : 32
Maximum transmit rate upstream(Kbps) : 1024
-----

```

7.4.2. Perfiles VDSL2

Para configurar un puerto VDSL es necesaria una plantilla de configuración de línea, o “*line template*”, que llevara asociados otros dos parámetros, el perfil de línea o “*line profile*” y el perfil de canal o “*channel profile*”.

El perfil de línea en este caso será único para todas las configuraciones. Se definen principalmente los siguientes parámetros:

- Modo de transmisión
- Bit Swap
- Valores de SNR máximos, mínimos y objetivo.
- Modo de adaptación de la velocidad.
- Parámetros UPBO
- Perfil VDSL2
- Uso de la banda U0
- Máscara de PSD

Como hemos dicho se ha definido un único perfil que será el que se aplique para todas las configuraciones:

```

-----
Profile index: 1      Name: VDSL_profile
Transmission mode:
  T1.413              G.992.1(Annex A/B/C)
  G.992.2(Annex A/C)  G.992.3(Annex A/B/I/J/L)
  G.992.4(Annex A/I)  G.992.5(Annex A/B/I/J)
  G.993.2(Annex A/B/C)
Bit swap downstream   : Enable
Bit swap upstream     : Enable
Form of transmit rate adaptation downstream : AdaptAtStartup
Form of transmit rate adaptation upstream   : AdaptAtStartup
Target SNR margin downstream(0.1dB)        : 80
Minimum SNR margin downstream(0.1dB)        : 60
Maximum SNR margin downstream(0.1dB)        : 310
Target SNR margin upstream(0.1dB)           : 80
Minimum SNR margin upstream(0.1dB)          : 60
Maximum SNR margin upstream(0.1dB)          : 310
UPBO US1 band reference PSD parameters[a, b] : 730, 2319
UPBO US2 band reference PSD parameters[a, b] : 1400, 1579
UPBO US3 band reference PSD parameters[a, b] : 0, 0
UPBO US4 band reference PSD parameters[a, b] : 0, 0
UPBO Boost Mode       : Enable
UPBO US1 band reference electrical length    : 0
UPBO US2 band reference electrical length    : 0
UPBO US3 band reference electrical length    : 0
UPBO US4 band reference electrical length    : 0
UPBO use of electrical length to compute UPBO : Auto
Allow transition to idle                      : not allowed
Allow transition to low power                 : not allowed
L0 time(second)                             : 255
L2 time(second)                             : 30
L3 time(second)                             : 255
Maximum aggregate transmit power reduction(dB) : 3
Total maximum aggregate transmit power reduction(dB) : 9
<defmode>
  G.993.2 profile                               : Profile8b
  VDSL2 PSD class mask                         : AnnexB998-M2x-A(B8-4)
  VDSL2 link use of U0                         : Used
  Maximum nominal aggregate transmit power downstream(0.1dBm) : 205
  Maximum nominal aggregate transmit power upstream(0.1dBm)   : 145

```

```

Upstream PSD mask selection          : ADLU-32/EU-32
Virtual noise mode downstream        : Di sable
Virtual noise mode upstream          : Di sable
Network timing reference clock mode   : FreeRun
INM inter arrival time offset downstream(symbol) : 3
INM inter arrival time step downstream : 0
INM cluster continuation value downstream
(symbol)                             : 0
INM equivalent INP mode downstream   : 0
INM inter arrival time offset upstream(symbol) : 3
INM inter arrival time step upstream : 0
INM cluster continuation value upstream(symbol) : 0
INM equivalent INP mode upstream     : 0
SOS time Window downstream(64ms)     : 0
Minimum percentage of degraded tones downstream : 0
Minimum number of normalized CRC anomalies
downstream(0.02)                     : 65535
Maximum number of SOS downstream     : 0
SNR margin offset of ROC downstream(0.1dB) : 0
Minimum impulse noise protection of ROC
downstream                           : 0
SOS time Window upstream(64ms)       : 0
Minimum percentage of degraded tones upstream : 0
Minimum number of normalized CRC anomalies
upstream(0.02)                       : 65535
Maximum number of SOS upstream       : 0
SNR margin offset of ROC upstream(0.1dB) : 0
Minimum impulse noise protection of ROC
upstream                             : 0
-----

```

Para cada una de las configuraciones se configurará un perfil de canal, dependiendo de la velocidad máxima de cada uno de ellos.

En este perfil se define principalmente:

- Velocidad de bajada máxima y mínima
- La profundidad de entrelazado
- Los símbolos usados para la protección contra el ruido impulsivo.

La configuración de cada perfil se muestra en el apartado correspondiente.

Por último, se define una plantilla de configuración que llevara asociados los dos perfiles mencionados anteriormente. Se creara una por cada perfil, y se definirá en su correspondiente apartado.

7.4.2.1. Perfil sin límite de velocidad

7.4.2.1.1. Perfil de canal

```

-----
Profile index: 1      Name: VDSL2-NoLimitado
Data path mode       : Both
Minimum impulse noise protection downstream : HalfSymbol
Minimum impulse noise protection upstream   : HalfSymbol

```

```

Maximum interleaving delay downstream(ms) : 32
Maximum interleaving delay upstream(ms)   : 16
Minimum transmit rate downstream(Kbps)    : 64
Minimum reserved transmit rate downstream(Kbps) : 64
Maximum transmit rate downstream(Kbps)    : 100000
Minimum transmit rate upstream(Kbps)      : 64
Minimum reserved transmit rate upstream(Kbps) : 64
Maximum transmit rate upstream(Kbps)      : 100000
Rate threshold downshift downstream(Kbps) : 0
Rate threshold upshift downstream(Kbps)   : 0
Rate threshold downshift upstream(Kbps)   : 0
Rate threshold upshift upstream(Kbps)     : 0
Retransmission control in downstream      : Di sable
Retransmission control in upstream        : Di sable
Erasure decoding switch                   : Di sable
Minimum SOS bit rate downstream(8Kbps)    : 8
Minimum SOS bit rate upstream(8Kbps)      : 8
-----

```

7.4.2.1.2. Plantilla

```

-----
Template index: 1      Name: VDSL2-NoLimitado
Line profile index    : 1
Channel 1 profile index : 1
Channel 1 rate adaptation ratio downstream : 100
Channel 1 rate adaptation ratio upstream   : 100
-----

```

7.4.2.2. Perfil limitado a 30 Mbps/1,5 Mbps

7.4.2.2.1. Perfil de canal

```

-----
Template index: 2      Name: VDSL2-30Mbps/3.5M
Line profile index    : 1
Channel 1 profile index : 2
Channel 1 rate adaptation ratio downstream : 100
Channel 1 rate adaptation ratio upstream   : 100
-----

```

7.4.2.2.2. Plantilla

```

-----
Profile index: 2      Name: VDSL2-30Mbps/1.5M
Data path mode       : Both
Minimum impulse noise protection downstream : HalfSymbol
Minimum impulse noise protection upstream   : HalfSymbol
Maximum interleaving delay downstream(ms)  : 32
Maximum interleaving delay upstream(ms)    : 16
Minimum transmit rate downstream(Kbps)     : 64
Minimum reserved transmit rate downstream(Kbps) : 64
Maximum transmit rate downstream(Kbps)     : 30720
Minimum transmit rate upstream(Kbps)       : 64
Minimum reserved transmit rate upstream(Kbps) : 64
Maximum transmit rate upstream(Kbps)       : 3536
Rate threshold downshift downstream(Kbps)  : 0
Rate threshold upshift downstream(Kbps)    : 0
Rate threshold downshift upstream(Kbps)    : 0
Rate threshold upshift upstream(Kbps)      : 0
Retransmission control in downstream       : Di sable
Retransmission control in upstream         : Di sable
Erasure decoding switch                   : Di sable
Minimum SOS bit rate downstream(8Kbps)     : 8
Minimum SOS bit rate upstream(8Kbps)       : 8
-----

```

7.4.2.3. Perfil limitado a 20 Mbps/1 Mbps

7.4.2.3.1. Perfil de canal

```
-----
Template index: 3      Name: VDSL2-20Mbps/1M
Line profile index      : 1
Channel 1 profile index : 3
Channel 1 rate adaptation ratio downstream : 100
Channel 1 rate adaptation ratio upstream   : 100
-----
```

7.4.2.3.2. Plantilla

```
-----
Profile index: 3      Name: VDSL2-20Mbps/1M
Data path mode      : Both
Minimum impulse noise protection downstream : HalfSymbol
Minimum impulse noise protection upstream   : HalfSymbol
Maximum interleaving delay downstream(ms)  : 32
Maximum interleaving delay upstream(ms)     : 16
Minimum transmit rate downstream(Kbps)      : 64
Minimum reserved transmit rate downstream(Kbps) : 64
Maximum transmit rate downstream(Kbps)      : 20480
Minimum transmit rate upstream(Kbps)        : 64
Minimum reserved transmit rate upstream(Kbps) : 64
Maximum transmit rate upstream(Kbps)        : 1024
Rate threshold downshift downstream(Kbps)   : 0
Rate threshold upshift downstream(Kbps)     : 0
Rate threshold downshift upstream(Kbps)     : 0
Rate threshold upshift upstream(Kbps)       : 0
Retransmission control in downstream        : Disable
Retransmission control in upstream          : Disable
Erasure decoding switch                     : Disable
Minimum SOS bit rate downstream(8Kbps)      : 8
Minimum SOS bit rate upstream(8Kbps)        : 8
-----
```

7.4.3. Perfiles VDSL2 *bonding*

Para la configuración de dos puertos unidos, tenemos que definir un grupo de *bonding*, donde indicaremos el puerto primario, el secundario y el perfil de línea que se usará.

```
-----
Bonding group primary port      : 0/3/0
Bonding group profile          : 1
Bonding group scheme           : efm
Bonding group peer-scheme      : efm
Bonding group discovery-code   : 0000-0003-0000
Bonding group description      : BONDING_GROUP
Bonding group admin-status     : active

Link 0                         : 0/3/0
The port state is              : Activating

Link 1                         : 0/3/1
The port state is              : Activating
-----
```

En cuanto al resto de configuraciones, se hará para cada puerto del mismo modo que hasta ahora, asignado a cada uno un perfil de línea, que será único para todas las configuraciones, un perfil de canal y una plantilla propios, que se definirán en cada uno de los apartados.

El perfil de línea será el mismo que hemos usado para las configuraciones de VDSL2 anteriores.

```

-----
Profile index: 1      Name: VDSL_profile
Transmission mode:
  T1.413              G.992.1(Annex A/B/C)
  G.992.2(Annex A/C)  G.992.3(Annex A/B/I/J/L)
  G.992.4(Annex A/I)  G.992.5(Annex A/B/I/J)
  G.993.2(Annex A/B/C)
Bit swap downstream   : Enable
Bit swap upstream     : Enable
Form of transmit rate adaptation downstream : AdaptAtStartup
Form of transmit rate adaptation upstream   : AdaptAtStartup
Target SNR margin downstream(0.1dB)       : 80
Minimum SNR margin downstream(0.1dB)      : 60
Maximum SNR margin downstream(0.1dB)      : 310
Target SNR margin upstream(0.1dB)         : 80
Minimum SNR margin upstream(0.1dB)        : 60
Maximum SNR margin upstream(0.1dB)        : 310
UPBO US1 band reference PSD parameters[a, b] : 730, 2319
UPBO US2 band reference PSD parameters[a, b] : 1400, 1579
UPBO US3 band reference PSD parameters[a, b] : 0, 0
UPBO US4 band reference PSD parameters[a, b] : 0, 0
UPBO Boost Mode      : Enable
UPBO US1 band reference electrical length   : 0
UPBO US2 band reference electrical length   : 0
UPBO US3 band reference electrical length   : 0
UPBO US4 band reference electrical length   : 0
UPBO use of electrical length to compute UPBO : Auto
Allow transition to idle                    : not allowed
Allow transition to low power               : not allowed
L0 time(second)                           : 255
L2 time(second)                           : 30
L3 time(second)                           : 255
Maximum aggregate transmit power reduction(dB) : 3
Total maximum aggregate transmit power reduction(dB) : 9
<defmode>
  G.993.2 profile      : Profile8b
  VDSL2 PSD class mask : AnnexB998-M2x-A(B8-4)
  VDSL2 link use of U0  : Used
  Maximum nominal aggregate transmit power downstream(0.1dBm) : 205
  Maximum nominal aggregate transmit power upstream(0.1dBm)    : 145
  Upstream PSD mask selection : ADLU-32/EU-32
  Virtual noise mode downstream : Disable
  Virtual noise mode upstream   : Disable
Network timing reference clock mode : FreeRun
INM inter arrival time offset downstream(symbol) : 3
INM inter arrival time step downstream           : 0
INM cluster continuation value downstream(symbol) : 0
INM equivalent INP mode downstream              : 0
INM inter arrival time offset upstream(symbol)   : 3
INM inter arrival time step upstream            : 0
INM cluster continuation value upstream(symbol)  : 0
INM equivalent INP mode upstream                : 0
SOS time Window downstream(64ms)               : 0
Minimum percentage of degraded tones downstream : 0
Minimum number of normalized CRC anomalies

```



```

downstream(0.02) : 65535
Maximum number of SOS downstream : 0
SNR margin offset of ROC downstream(0.1dB) : 0
Minimum impulse noise protection of ROC
downstream : 0
SOS time Window upstream(64ms) : 0
Minimum percentage of degraded tones upstream : 0
Minimum number of normalized CRC anomalies
upstream(0.02) : 65535
Maximum number of SOS upstream : 0
SNR margin offset of ROC upstream(0.1dB) : 0
Minimum impulse noise protection of ROC
upstream : 0
-----

```

7.4.3.1. Perfil sin límite de velocidad en cada uno de los canales

7.4.3.1.1. Perfil de canal

```

-----
Profile index: 1      Name: VDSL2-NoLimitado
Data path mode : Both
Minimum impulse noise protection downstream : HalfSymbol
Minimum impulse noise protection upstream : HalfSymbol
Maximum interleaving delay downstream(ms) : 32
Maximum interleaving delay upstream(ms) : 16
Minimum transmit rate downstream(Kbps) : 64
Minimum reserved transmit rate downstream(Kbps) : 64
Maximum transmit rate downstream(Kbps) : 100000
Minimum transmit rate upstream(Kbps) : 64
Minimum reserved transmit rate upstream(Kbps) : 64
Maximum transmit rate upstream(Kbps) : 100000
Rate threshold downshift downstream(Kbps) : 0
Rate threshold upshift downstream(Kbps) : 0
Rate threshold downshift upstream(Kbps) : 0
Rate threshold upshift upstream(Kbps) : 0
Retransmission control in downstream : Disable
Retransmission control in upstream : Disable
Erasure decoding switch : Disable
Minimum SOS bit rate downstream(8Kbps) : 8
Minimum SOS bit rate upstream(8Kbps) : 8
-----

```

7.4.3.1.2. Plantilla

```

-----
Template index: 1      Name: VDSL2-NoLimitado
Line profile index : 1
Channel 1 profile index : 1
Channel 1 rate adaptation ratio downstream : 100
Channel 1 rate adaptation ratio upstream : 100
-----

```

7.4.3.2. Perfil limitado a 30 Mbps/3,5 Mbps en cada uno de los canales

7.4.3.2.1. Perfil de canal

```

-----
Template index: 2      Name: VDSL2-30Mbps/3.5M
Line profile index : 1

```

```

Channel 1 profile index      : 2
Channel 1 rate adaptation ratio downstream : 100
Channel 1 rate adaptation ratio upstream   : 100

```

7.4.3.2.2. Plantilla

```

-----
Profile index: 2      Name: VDSL2-30Mbps/1.5M
Data path mode       : Both
Minimum impulse noise protection downstream : HalfSymbol
Minimum impulse noise protection upstream   : HalfSymbol
Maximum interleaving delay downstream(ms)  : 32
Maximum interleaving delay upstream(ms)    : 16
Minimum transmit rate downstream(Kbps)     : 64
Minimum reserved transmit rate downstream(Kbps) : 64
Maximum transmit rate downstream(Kbps)     : 30720
Minimum transmit rate upstream(Kbps)       : 64
Minimum reserved transmit rate upstream(Kbps) : 64
Maximum transmit rate upstream(Kbps)       : 3536
Rate threshold downshift downstream(Kbps)  : 0
Rate threshold upshift downstream(Kbps)    : 0
Rate threshold downshift upstream(Kbps)    : 0
Rate threshold upshift upstream(Kbps)      : 0
Retransmission control in downstream       : Di sable
Retransmission control in upstream         : Di sable
Erasure decoding switch                    : Di sable
Minimum SOS bit rate downstream(8Kbps)     : 8
Minimum SOS bit rate upstream(8Kbps)       : 8
-----

```

7.4.3.3. Perfil limitado a 20 Mbps/1 Mbps en cada uno de los canales

7.4.3.3.1. Perfil de canal

```

-----
Template index: 3      Name: VDSL2-20Mbps/1M
Line profile index    : 1
Channel 1 profile index : 3
Channel 1 rate adaptation ratio downstream : 100
Channel 1 rate adaptation ratio upstream   : 100
-----

```

7.4.3.3.2. Plantilla

```

-----
Profile index: 3      Name: VDSL2-20Mbps/1M
Data path mode       : Both
Minimum impulse noise protection downstream : HalfSymbol
Minimum impulse noise protection upstream   : HalfSymbol
Maximum interleaving delay downstream(ms)  : 32
Maximum interleaving delay upstream(ms)    : 16
Minimum transmit rate downstream(Kbps)     : 64
Minimum reserved transmit rate downstream(Kbps) : 64
Maximum transmit rate downstream(Kbps)     : 20480
Minimum transmit rate upstream(Kbps)       : 64
Minimum reserved transmit rate upstream(Kbps) : 64
Maximum transmit rate upstream(Kbps)       : 1024
Rate threshold downshift downstream(Kbps)  : 0
Rate threshold upshift downstream(Kbps)    : 0
Rate threshold downshift upstream(Kbps)    : 0
Rate threshold upshift upstream(Kbps)      : 0
Retransmission control in downstream       : Di sable
Retransmission control in upstream         : Di sable
Erasure decoding switch                    : Di sable
Minimum SOS bit rate downstream(8Kbps)     : 8
Minimum SOS bit rate upstream(8Kbps)       : 8
-----

```

7.4.4. Señales interferentes utilizadas

Ruido blanco gaussiano: simula ruido térmico generado por la impedancia característica del bucle. se aplica un AWGN con una máscara de potencia de -140 dBm/Hz. Este ruido se aplica siempre, por lo que una línea ideal se considera aquella a la que solo se le añade este tipo de ruido.

Diafonía ETSI A: ETSI A incluye tonos discretos, que representan la interferencia de radiofrecuencia que es observada comúnmente en especial en pares de hilos encaminados sobre tierra.

Según TS 101 388, se definen cuatro modelos de ruido para pruebas de líneas ADSL:

- a) Los modelos tipo “FA” pretenden representar un escenario con alto nivel de penetración, con hasta cientos pares interferentes, además de otros sistemas de transmisión potencialmente incompatibles.
- b) Los modelos tipo “FB” pretenden representar un escenario con un nivel de penetración medio, con hasta decenas de pares interferentes, además de otros sistemas de transmisión potencialmente incompatibles.
- c) Los modelos tipo “FC” pretenden representar un escenario heredado que considera la presencia de sistemas tales como ISDN-PRI con codificación HDB3, además del escenario de penetración media del modelo “FB”.
- d) Los modelos tipo “FD” pretenden representar un escenario cuyas interferencias son puramente diafonías procedentes de otras líneas ADSL.

Los modelos con efectos ‘*crosstalk*’ que se prueban en este documento, están en concordancia de lo definido en los estándares europeos de pruebas de sistemas xDSL así como en las normas ETSI de requerimientos de sistemas xDSL.

- ETSI TS 101 388 (*ADSL European Specific Requirements*)
- ETSI TS 101 270 (*VDSL: Functional Requirements*)

- TR-100 (*ADSL2/ADSL2+ Performance Test Plan*)
- TR-114 (*VDSL2 Performance Test Plan*)

De todos los escenarios interferentes posibles, se han elegido aquellos que empíricamente dan resultados más ajustados a la realidad, en comparación con líneas de abonado en una red real.

7.4.4.1. Ruido Blanco (AWGN)

Como se ha descrito antes, un entorno ideal sin ninguna fuente de ruido interferente es difícilmente alcanzable, por lo que se asumen pérdidas debidas a entornos de prueba no ideales.

El ruido blanco se aplicara tanto en todos los modelos de ruido propuestos, como en el escenario considerado ideal.

7.4.4.2. Modelo de ruido 1: ADSL2+ FB (FEXT=850m) + AWGN+ ETSI-A

Este modelo representa un escenario de penetración media de servicios xDSL, de hasta 10 pares interferentes y otras fuentes interferentes incompatibles.

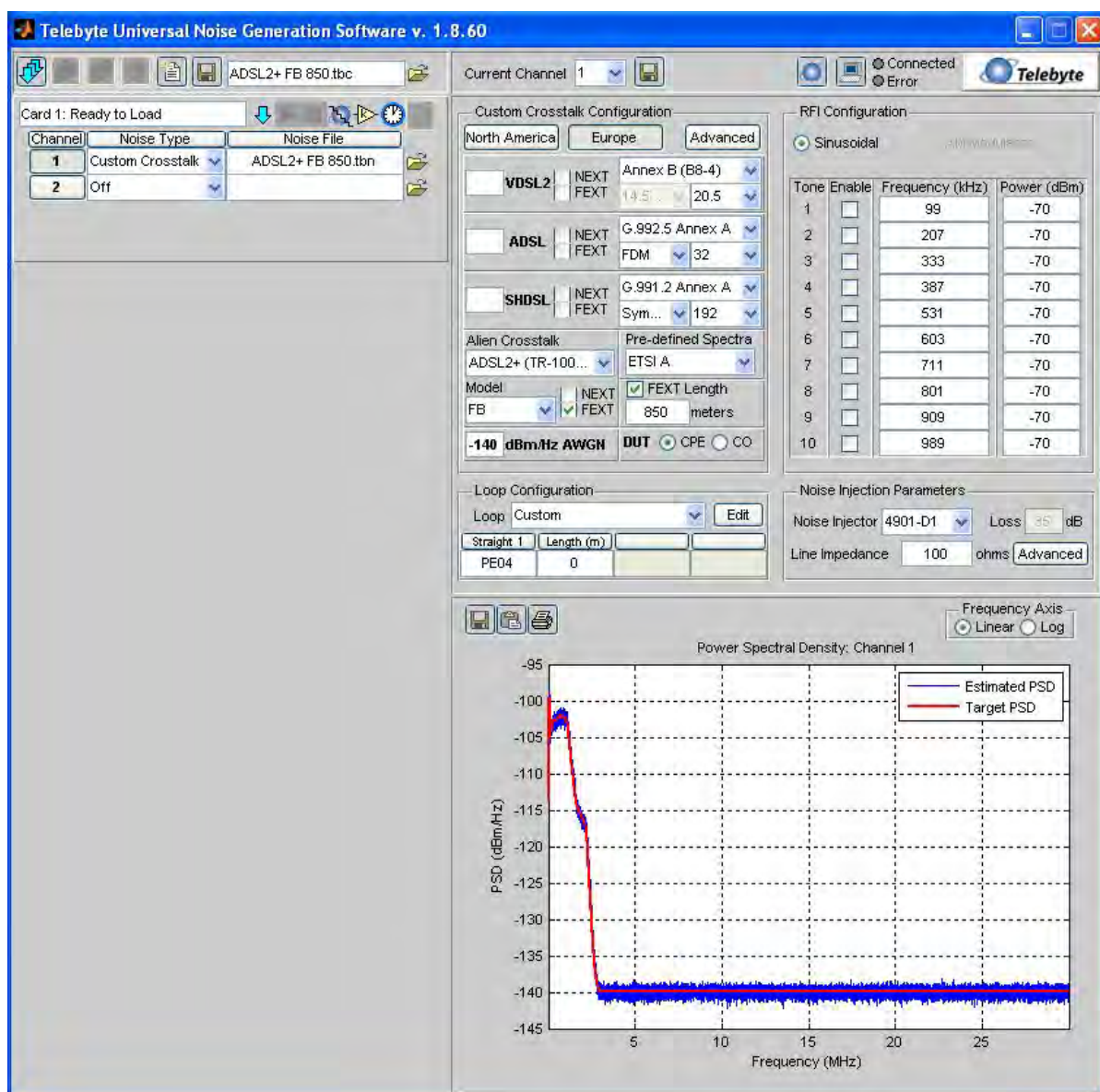


Fig. 7.1 Modelo de ruido 1 configurado en el simulador

7.4.4.3. Modelo de ruido 2: FEXT 10 ADSL2+ y 2 VDSL2 (FEXT=850m) + AWGN+ ETSI-A

Este modelo representa una penetración media de servicios ADSL2+ y dos fuentes interferentes VDSL2.

No es un modelo estandarizado, pero se utilizará debido a que se ha comprobado de forma empírica que se ajusta al comportamiento de pares reales estudiados.

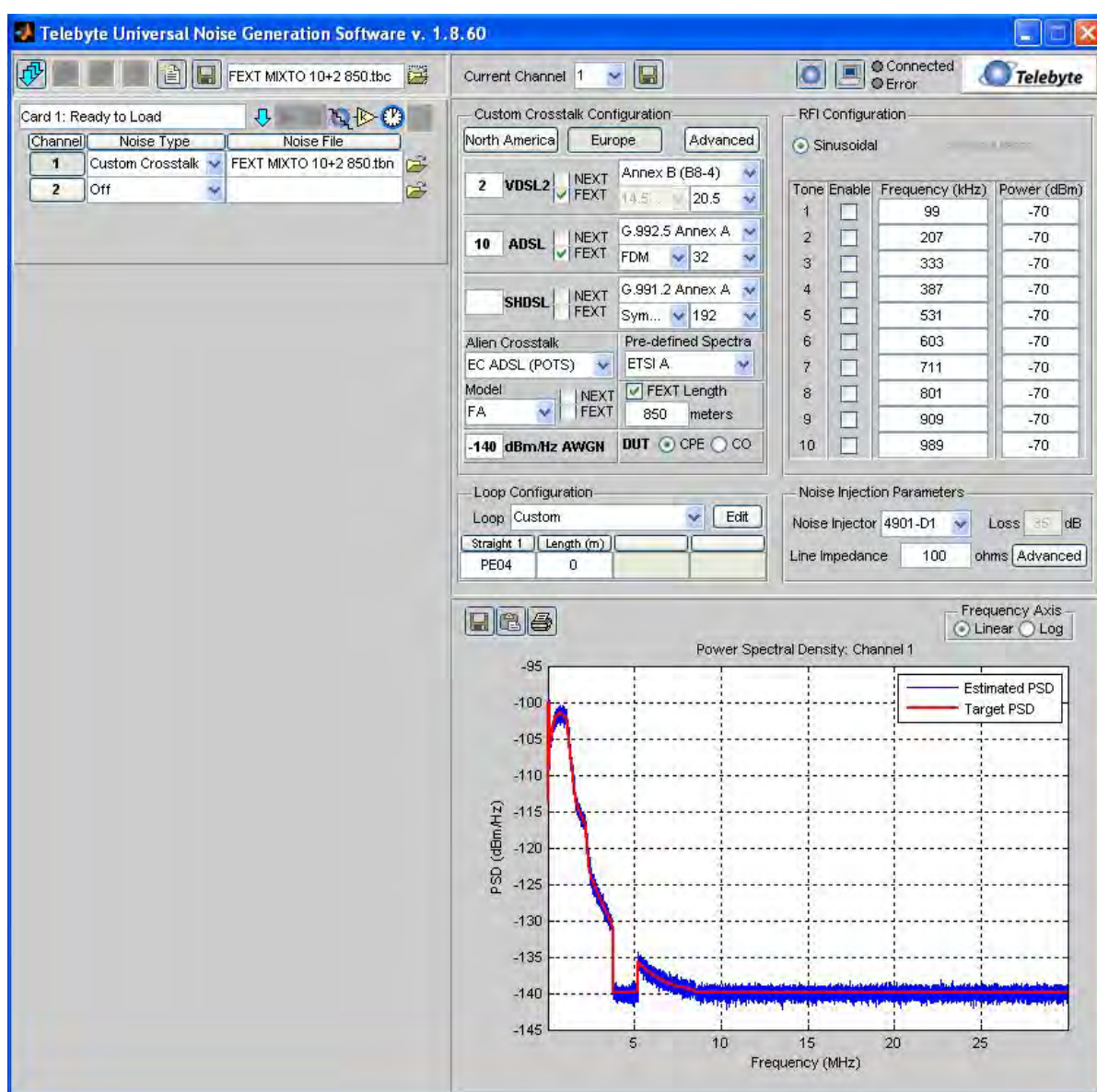


Fig. 7.2 Modelo de ruido 2 configurado en el simulador

7.4.4.4. Modelo de ruido 3: ADSL2+ FB y 13 VDSL2 (FEXT=850) + AWGN + ETSI-A

Este modelo se utilizará debido a que es un modelo propuesto en el documento TR-114 de requerimientos de los sistemas VDSL2

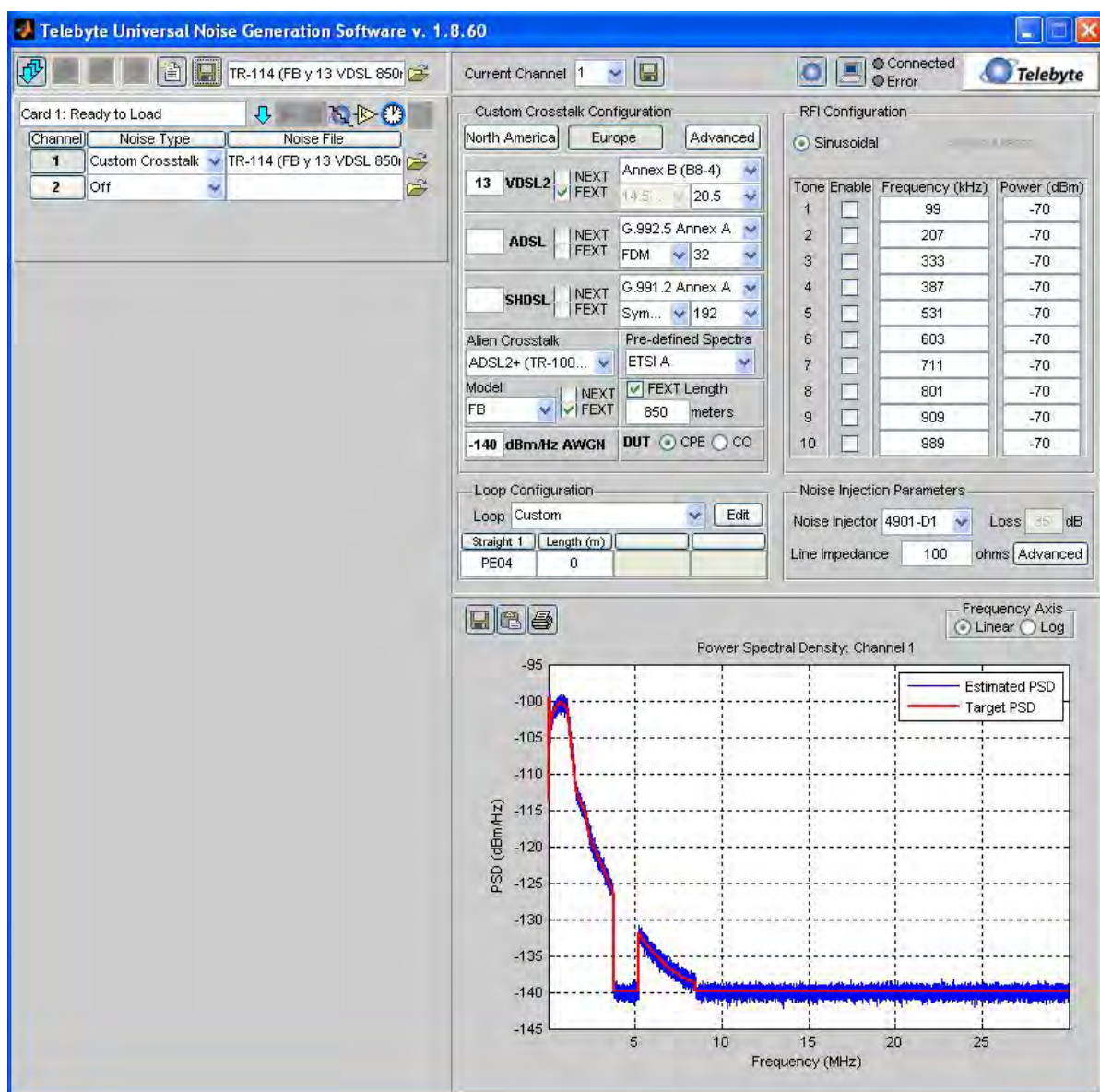


Fig. 7.3 Modelo de ruido 3 configurado en el simulador

7.5. Simulaciones ADSL2+

7.5.1. Perfil sin límite de velocidad.

7.5.1.1. AWGN

DISTANCIA (m)	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)
0	25058	1240
250	24750	1259
500	24504	1266
750	23802	1270
1000	22199	1285
1250	20035	1270
1500	18641	1274
1750	15744	1274
2000	13160	1262
2250	9506	1205
2500	9354	1127
2750	4992	1119
3000	5500	1001
3250	3278	925
3500	3577	824
3750	2112	691
4000	1506	710
4250	1381	568
4500	876	443
4750	757	408

Tabla 7.1 Resultados simulaciones ADSL2+. Perfil: Sin limitar. Ruido: AWGN

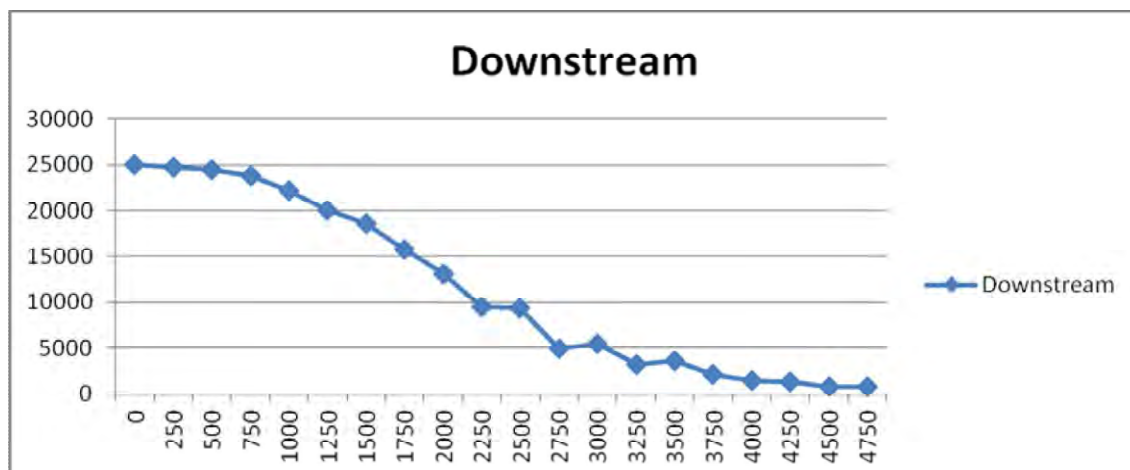


Fig. 7.4 Curva velocidades Downstream ADSL2+. Perfil: Sin limitar. Ruido: AWGN

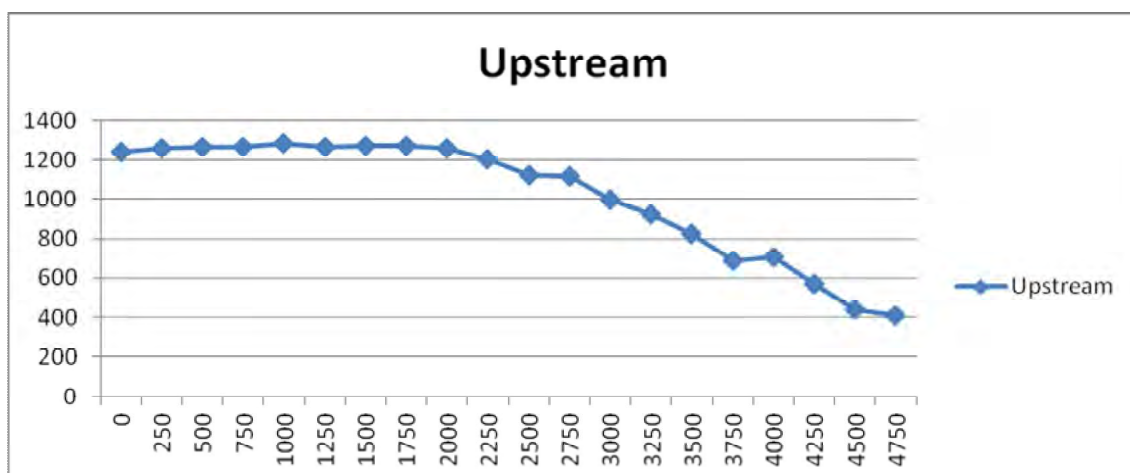


Fig. 7.5 Curva velocidades Upstream ADSL2+. Perfil: Sin limitar. Ruido: AWGN

7.5.1.2. Modelo 3

DISTANCIA (m)	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)
0	22431	1168
250	21372	1157
500	19042	1134
750	15924	1099
1000	12239	1050
1250	8933	985
1500	5337	943
1750	3426	888
2000	2394	824
2250	1557	725
2500	1034	650
2750	544	582
3000	296	502
3250	264	426
3500	118	333

Tabla. 7.2 Resultados simulaciones ADSL2+. Perfil: Sin limitar. Ruido: Modelo 3

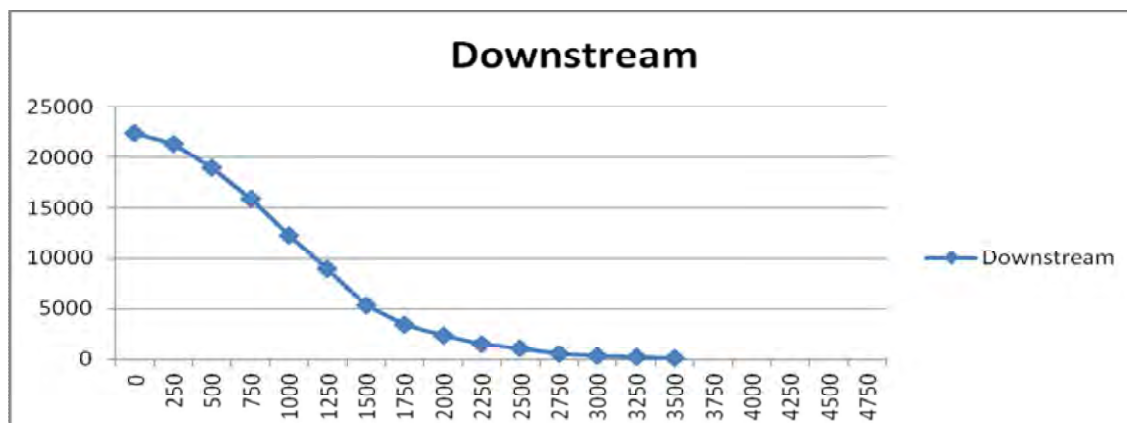


Fig. 7.6 Curva velocidades Downstream ADSL2+. Perfil: Sin limitar. Ruido: Modelo 3

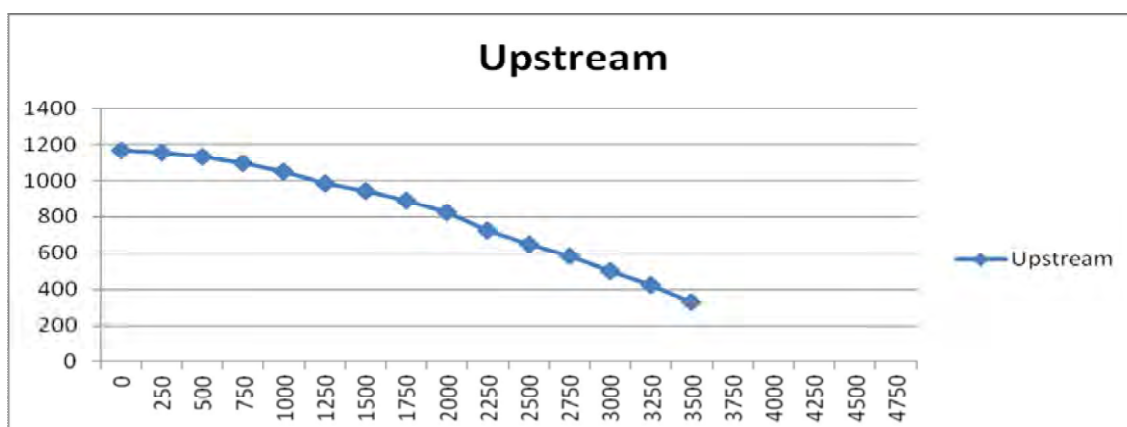


Fig. 7.8 Curva velocidades Upstream ADSL2+. Perfil: Sin limitar. Ruido: Modelo 3

7.5.1.3. Modelo 1

DISTANCIA (m)	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)
0	23190	1172
250	22196	1157
500	19775	1134
750	16906	1099
1000	13401	1047
1250	9898	993
1500	6157	947
1750	3984	888
2000	2679	824
2250	1837	728
2500	1259	654
2750	689	586
3000	395	506
3250	142	422
3500	177	336
3750	80	249

Tabla 7.3 Resultados simulaciones ADSL2+. Perfil: Sin limitar. Ruido: Modelo 1

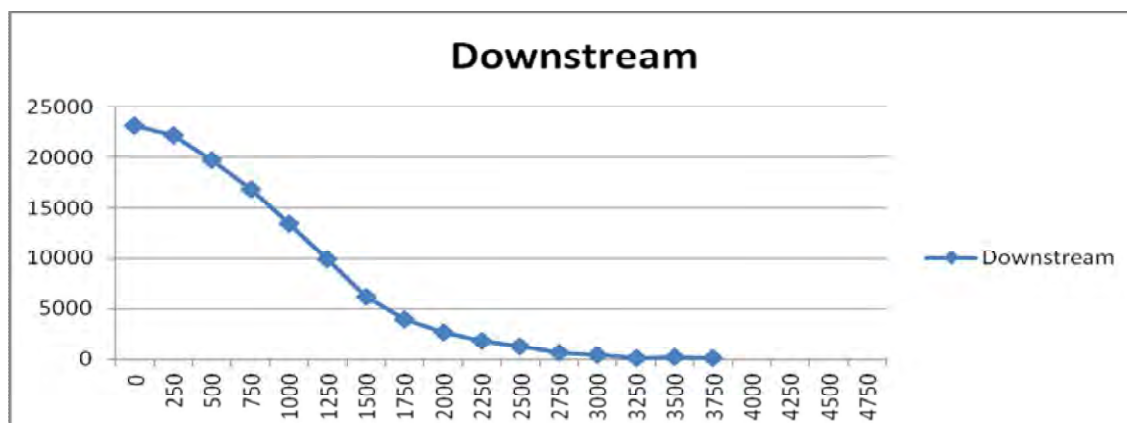


Fig. 7.9 Curva velocidades Downstream ADSL2+. Perfil: Sin limitar. Ruido: Modelo 1

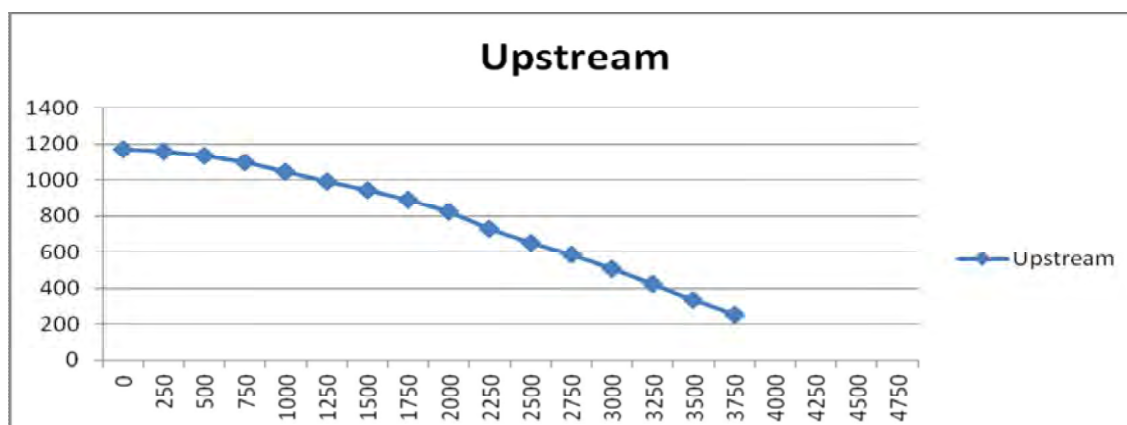


Fig. 7.10 Curva velocidades Upstream ADSL2+. Perfil: Sin limitar. Ruido: Modelo 1

7.5.1.4. Modelo 2

DISTANCIA (m)	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)
0	23004	1191
250	21971	1189
500	19666	1161
750	16637	1130
1000	13125	1080
1250	9643	1028
1500	5934	981
1750	3842	921
2000	2667	842
2250	1774	760
2500	1202	691
2750	675	619
3000	395	529
3250	146	462
3500	209	369
3750	110	290
4000	112	187

Tabla 7.4 Resultados simulaciones ADSL2+. Perfil: Sin limitar. Ruido: Modelo 2

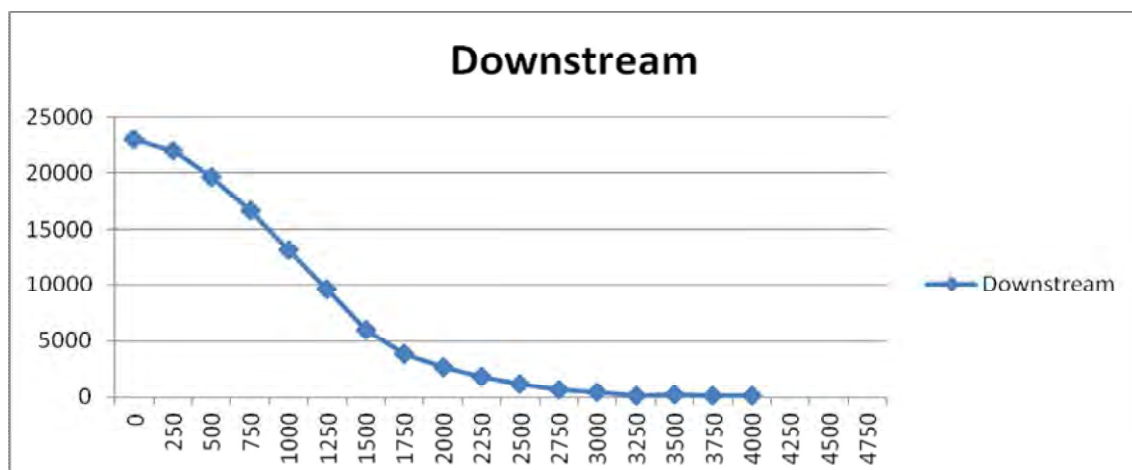


Fig. 7.11 Curva velocidades Downstream ADSL2+. Perfil: Sin limitar. Ruido: Modelo 2

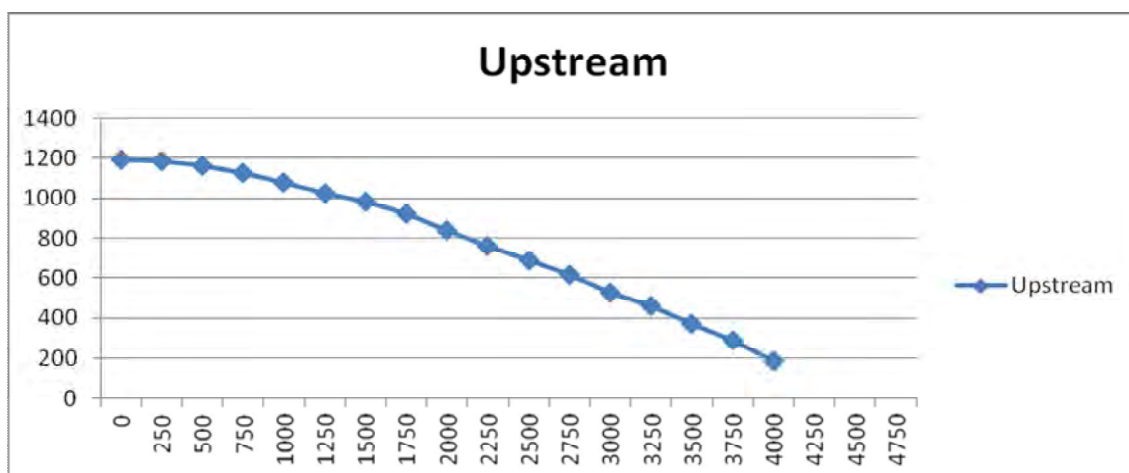


Fig. 7.12 Curva velocidades Upstream ADSL2+. Perfil: Sin limitar. Ruido: Modelo 2

7.5.1.5. Comparativa medidas *downstream*

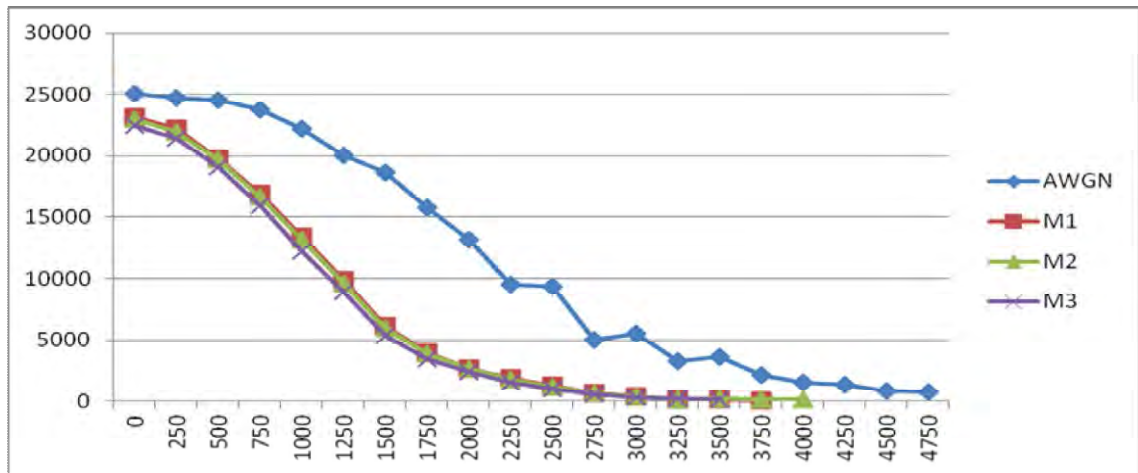


Fig. 7.13 Comparativa curvas Downstream ADSL2+. Perfil: Sin limitar

En los escenarios en los que se aplican fuentes de ruido interferentes, la curva de velocidades es mucho más parecida a la que se obtendría con datos de líneas reales.

En la gráfica que compara las curvas obtenidas para las velocidades en sentido descendente se observa claramente como se ve afectada la línea al aplicarle las fuentes de ruido, sincronizando muy por debajo de la velocidad que se podría obtener en condiciones ideales a la misma distancia.

En el escenario considerado ideal, con una línea ADSL se pueden alcanzar distancias de hasta unos 5000 metros, obteniéndose hasta los 1000 metros velocidades cercanas al máximo que ofrece la tecnología, y en cualquier caso, velocidades por encima de los 20 Mbps, que es la velocidad máxima que se suele comercializar utilizando ADSL2+.

También se aprecia que en los tres escenarios con los diferentes modelos de ruido aplicados, los resultados son similares.

En este caso, las máximas distancias alcanzadas rondan entre los 3500 o 4000 metros y no se superan los 500 metros a la máxima velocidad.

ADSL2+ define anexos que se utilizan en bucles muy largos, que permiten seguir sincronizando hasta alcanzar distancias de hasta 5000 metros, en este estudio no se han utilizado.

7.5.1.6. Comparativa medidas *upstream*

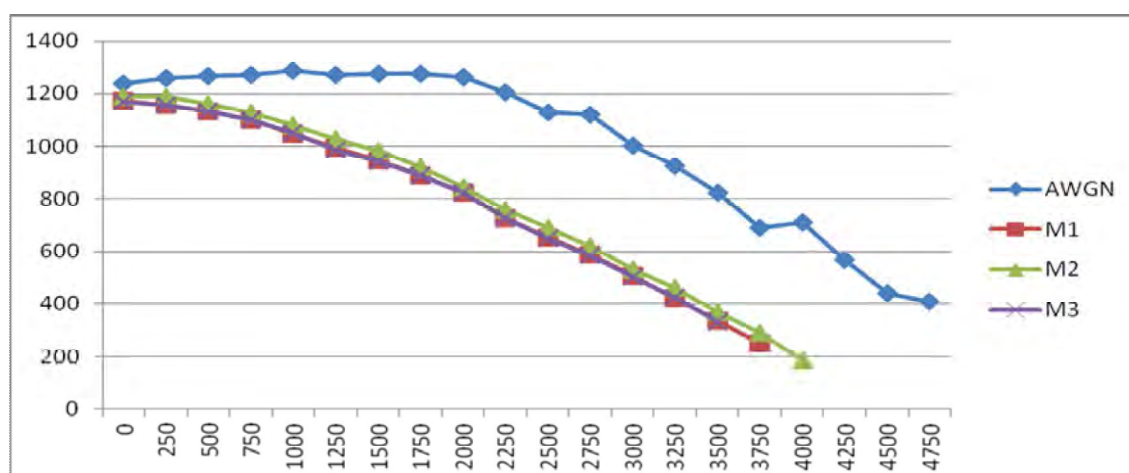


Fig. 7.14 Comparativa curvas Upstream ADSL2+. Perfil: Sin limitar

También en este caso las gráficas obtenidas con los resultados de las medidas en escenarios en los que se aplica algún modelo de ruido son más parecidas a las que se dibujarían con medidas obtenidas en líneas reales.

En cuanto a la velocidad en el sentido ascendente en el escenario considerado ideal, se pueden obtener valores cercanos al máximo hasta unos 3000 metros. Las frecuencias utilizadas para transportar la información en sentido ascendente son las más bajas del espectro utilizado, por lo que se ven menos afectadas por la atenuación que introduce la distancia del par de cobre.

Al aplicarle alguno de los modelos de ruido las velocidades cercanas a la máxima se alcanzan hasta llegar a distancias aproximadas a los 1000 metros.

Se aprecia en la gráfica como en todas las distancias medidas, en el escenario ideal se consiguen velocidades de sincronismo muy por encima que en el resto de escenarios.

7.5.2. Perfil limitado a 20 Mbps/1 Mbps

7.5.2.1. AWGN

DISTANCIA (m)	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)
0	20475	1021
250	20475	1021
500	20473	1021
750	20479	1021
1000	20478	1021
1250	20108	1021
1500	18818	1021
1750	15507	1021
2000	13580	1021
2250	9416	1021
2500	9599	1017
2750	5093	1016
3000	5315	1001
3250	3343	921
3500	3439	824
3750	2173	691
4000	1562	717
4250	1370	568
4500	858	454
4750	718	408

Tabla 7.5 Resultados simulaciones ADSL2+. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Ruido: AWGN

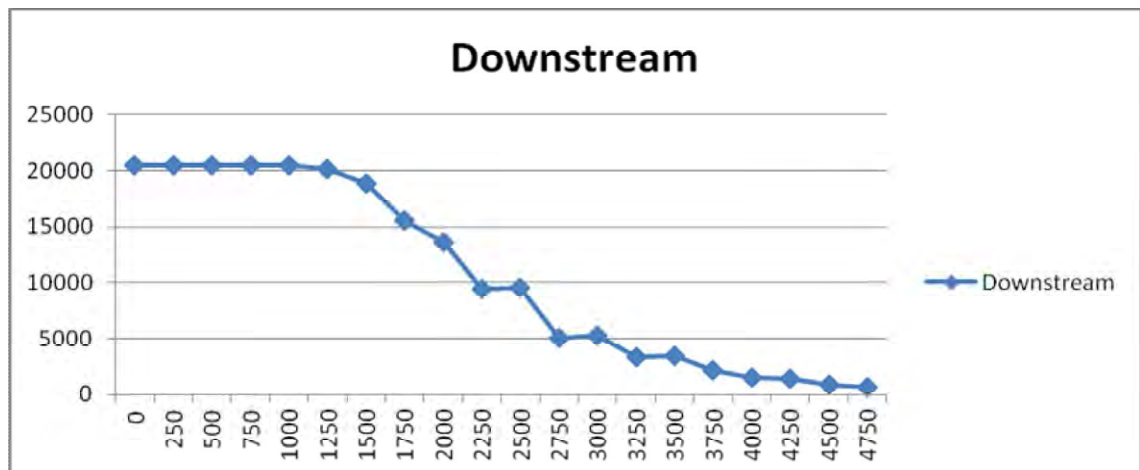


Fig. 7.15 Curva velocidades Downstream ADSL2+. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Ruido: AWGN

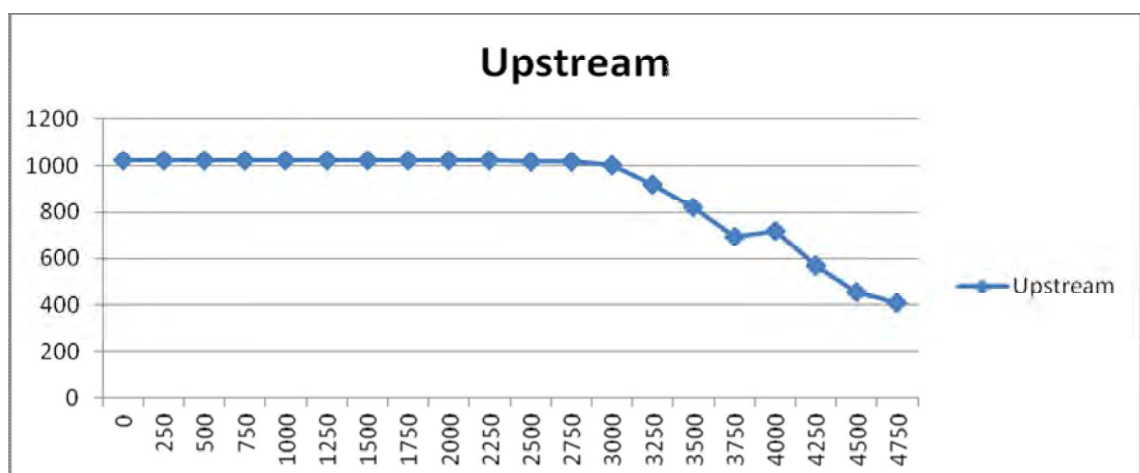


Fig. 7.16 Curva velocidades Upstream ADSL2+. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Ruido: AWGN

7.5.2.2. Modelo 3

DISTANCIA (m)	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)
0	20478	1021
250	20475	1022
500	18912	1017
750	15916	1017
1000	12394	1022
1250	8930	993
1500	5337	943
1750	3426	888
2000	2427	804
2250	1554	725
2500	1038	654
2750	532	582
3000	296	502
3250	264	422

Tabla 7.6 Resultados simulaciones ADSL2+. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Ruido: Modelo 3

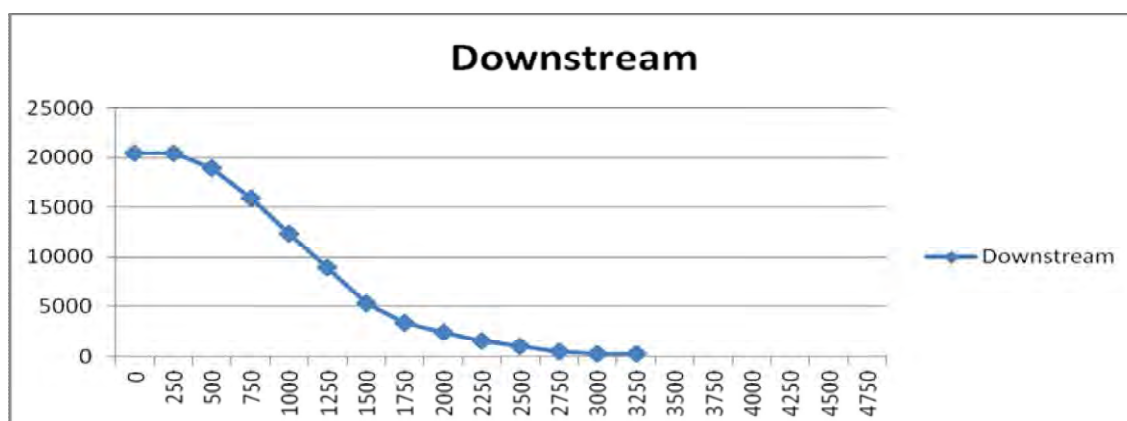


Fig. 7.17 Curva velocidades Downstream ADSL2+. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Ruido: Modelo 3

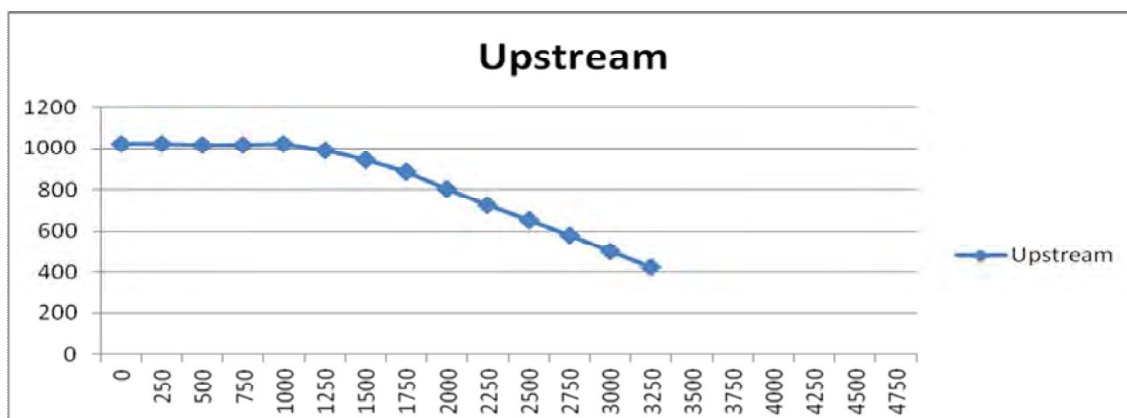


Fig. 7.18 Curva velocidades Upstream ADSL2+. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Ruido: Modelo 3

7.5.2.3. Modelo 1

DISTANCIA (m)	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)
0	20476	1021
250	20476	1022
500	19720	1022
750	16906	1017
1000	13397	1022
1250	9894	993
1500	6150	943
1750	3891	888
2000	2627	824
2250	1822	725
2500	1262	654
2750	686	586
3000	395	506
3250	146	422
3500	177	333
3750	80	259

Tabla 7.7 Resultados simulaciones ADSL2+. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Ruido: Modelo 1

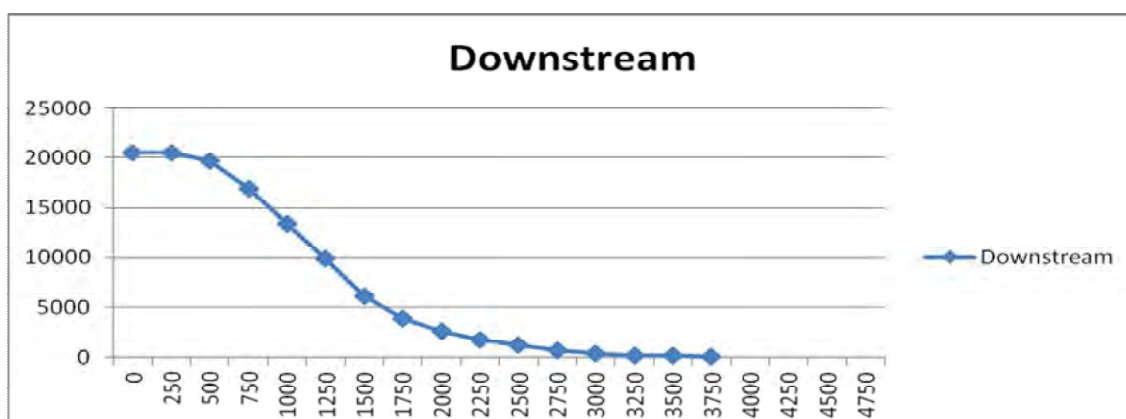


Fig. 7.19 Curva velocidades Downstream ADSL2+. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Ruido: Modelo 1

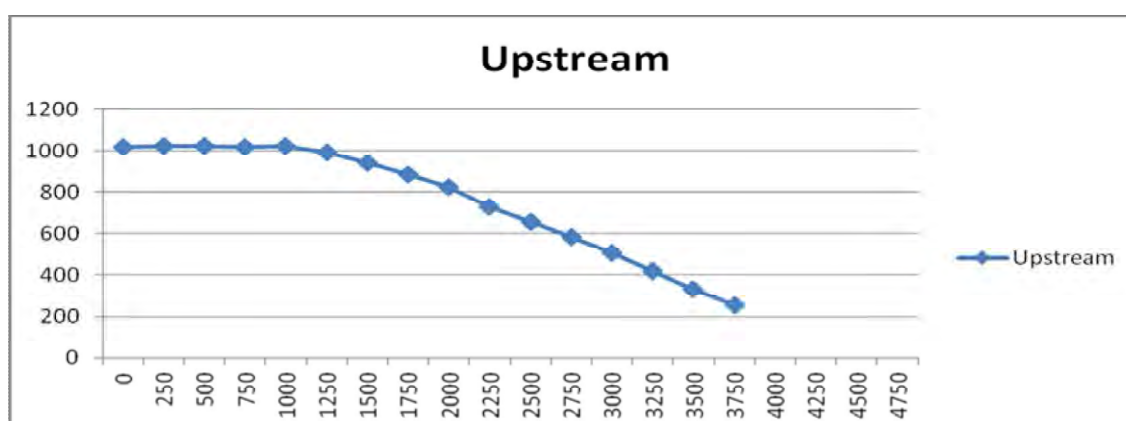


Fig. 7.20 Curva velocidades Upstream ADSL2+. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Ruido: Modelo 1

7.5.2.4. Modelo 2

DISTANCIA (m)	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)
0	20477	1021
250	20478	1021
500	19639	1018
750	16645	1017
1000	13125	1015
1250	9647	1014
1500	5943	981
1750	3761	921
2000	2674	846
2250	1782	760
2500	1194	690
2750	675	602
3000	384	515
3250	300	472
3500	209	370
3750	115	298
4000	110	188

Tabla 7.8 Resultados simulaciones ADSL2+. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Ruido: Modelo 2

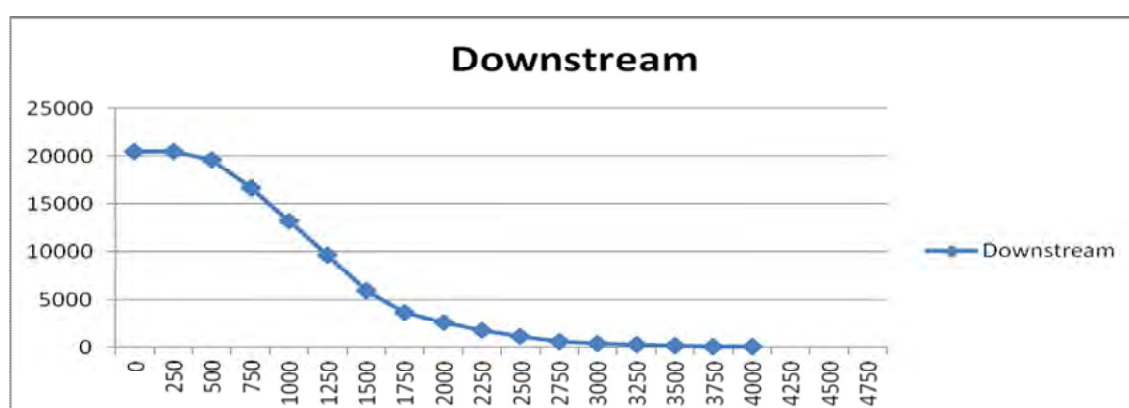


Fig. 7.21 Curva velocidades Downstream ADSL2+. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Ruido: Modelo 2

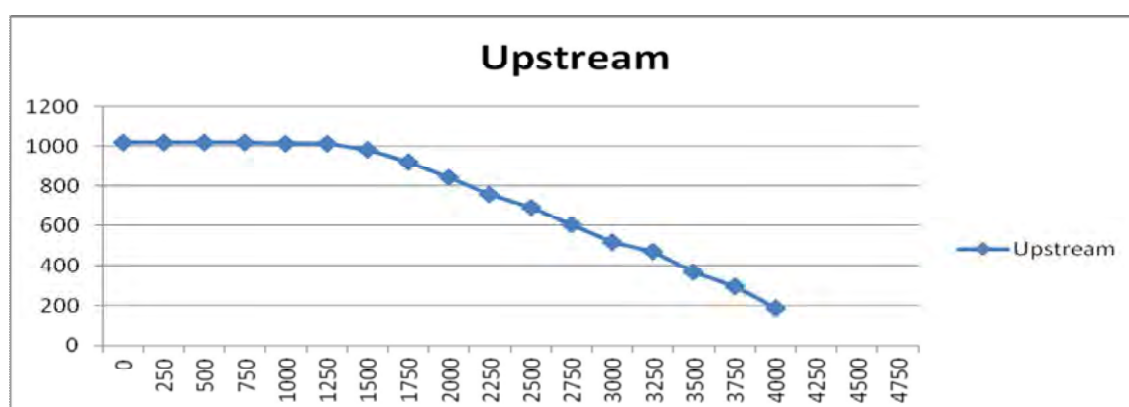


Fig. 7.22 Curva velocidades Upstream ADSL2+. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Ruido: Modelo 2

7.5.2.5. Comparativa medidas *downstream*

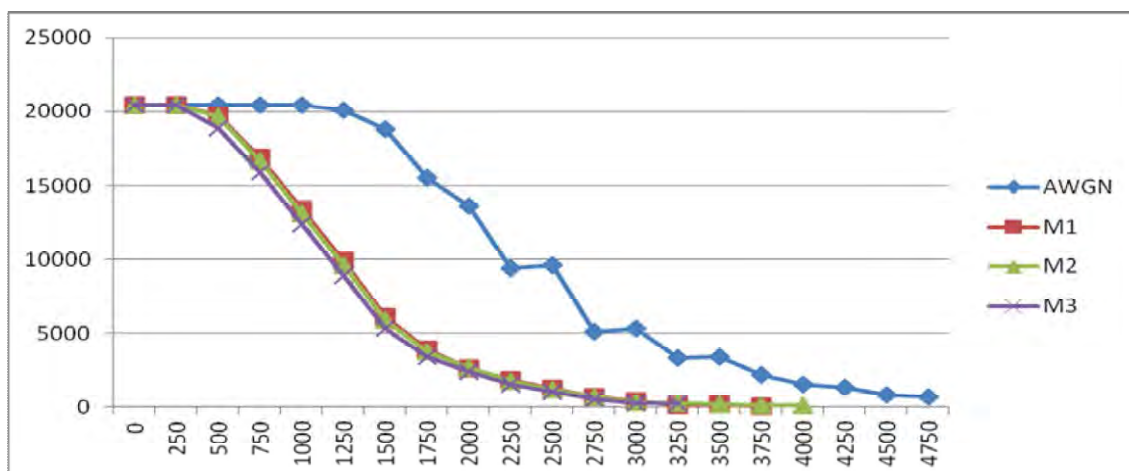


Fig. 7.23 Comparativa curvas Downstream ADSL2+. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps

Las velocidades máximas definidas en este perfil están muy próximas a las máximas permitidas por la tecnología. Por lo que las conclusiones a las gráficas obtenidas son muy parecidas a las ya comentadas en el perfil que no estaba limitado.

En condiciones ideales, se alcanza la velocidad máxima en sentido descendente hasta los 1000 metros y en sentido ascendente hasta casi los 3000 metros. Debido a la limitación del perfil, las gráficas coinciden en las distancias más cortas, hasta casi los 500 metros, donde los escenarios con modelos de ruido dejan de alcanzar la velocidad máxima.

La distancia alcanzada es de unos 5000 metros en condiciones ideales y de entre 3500 y 4000 cuando se aplica algún modelo de ruido.

7.5.2.6. Comparativa medidas *upstream*

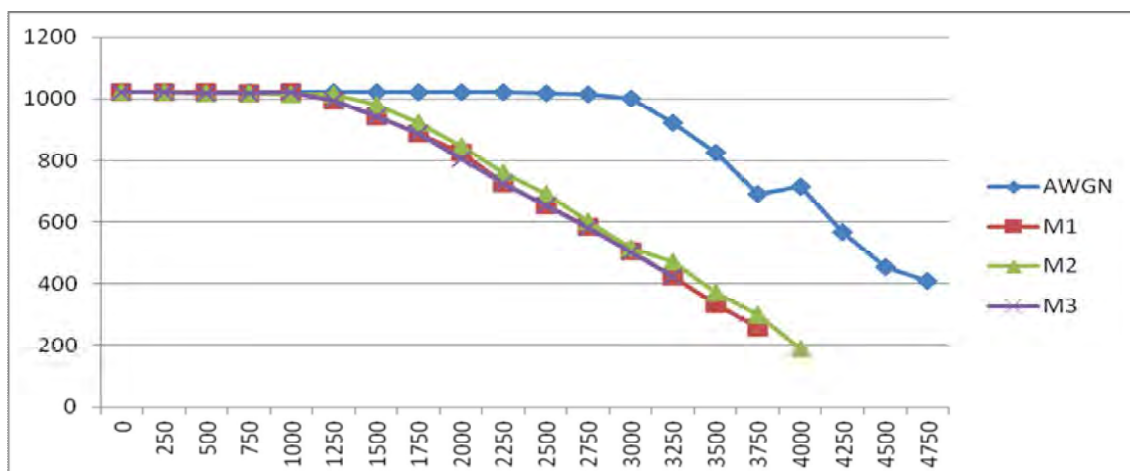


Fig. 7.24 Comparativa curvas Upstream ADSL2+. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps

En el caso de las velocidades de sincronización en sentido ascendente alcanzadas con el perfil limitado a 1 Mbps, en el escenario en el que existen condiciones ideales la línea sincroniza a la máxima velocidad hasta distancias de unos 3000 metros, disminuyendo en los escenarios en los que se aplica algún modelo de ruido de aproximadamente 1000 metros.

7.6. Simulaciones VDSL2

7.6.1. Perfil sin límite de velocidad

7.6.1.1. AWGN

DISTANCIA (m)	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)
0	77292	9762
250	68575	10746
500	57862	10201
750	42118	8060
1000	31597	3151
1250	25283	1253
1500	18909	1245
1750	16416	1192
2000	10246	1157
2250	10069	1065
2500	6430	993
2750	5449	997
3000	4515	859
3250	3130	809
3500	4275	804

Tabla 7.9 Resultados simulaciones VDSL2. Perfil: Sin limitar. Ruido: AWGN

La última medida sincroniza en ADSL2+.

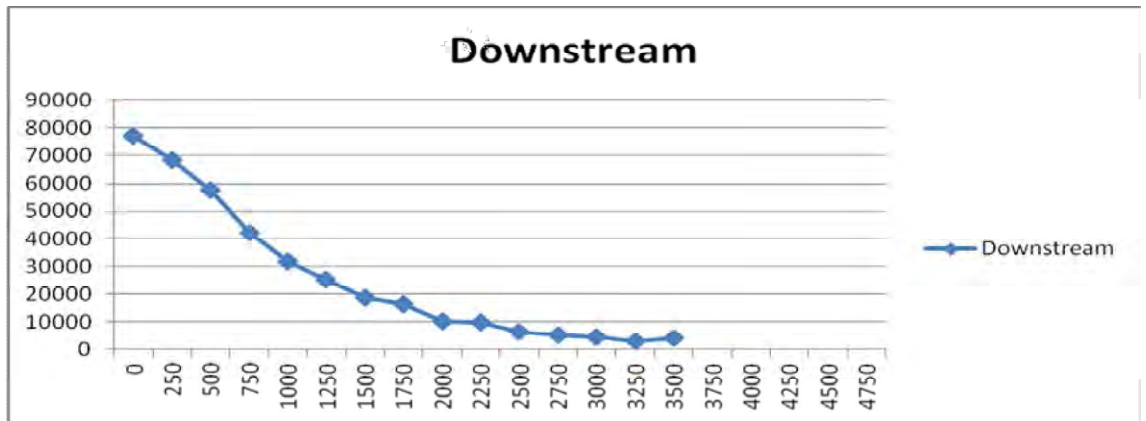


Fig. 7.25 Curva velocidades Downstream VDSL2. Perfil: Sin limitar. Ruido: AWGN

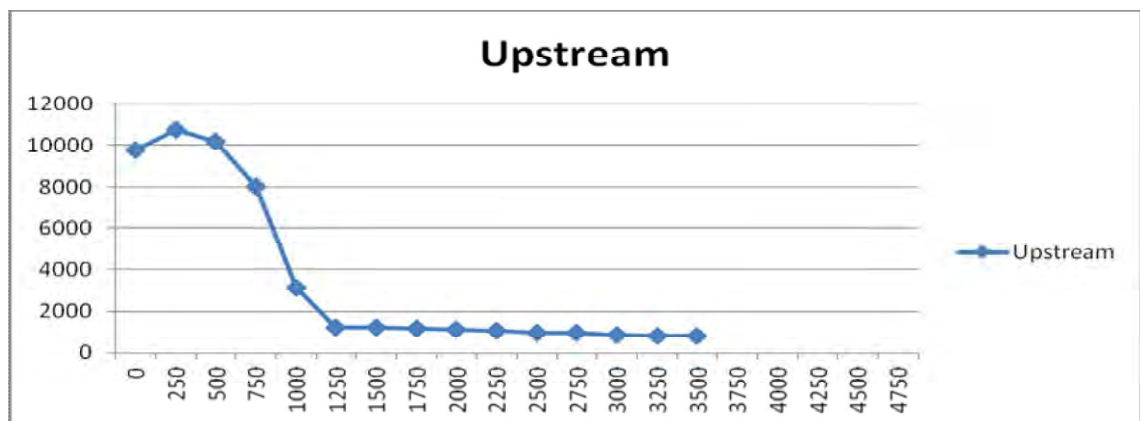


Fig. 7.26 Curva velocidades Upstream VDSL2. Perfil: Sin limitar. Ruido: AWGN

7.6.1.2. Modelo 3

DISTANCIA (m)	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)
0	74341	9353
250	64529	10267
500	50691	10017
750	29481	7722
1000	16115	2938
1250	9343	920
1500	5013	863
1750	3108	782
2000	2175	714
2250	1340	622
2500	816	553
2750	305	478

Tabla 7.10 Resultados simulaciones VDSL2. Perfil: Sin limitar. Ruido: Modelo 3

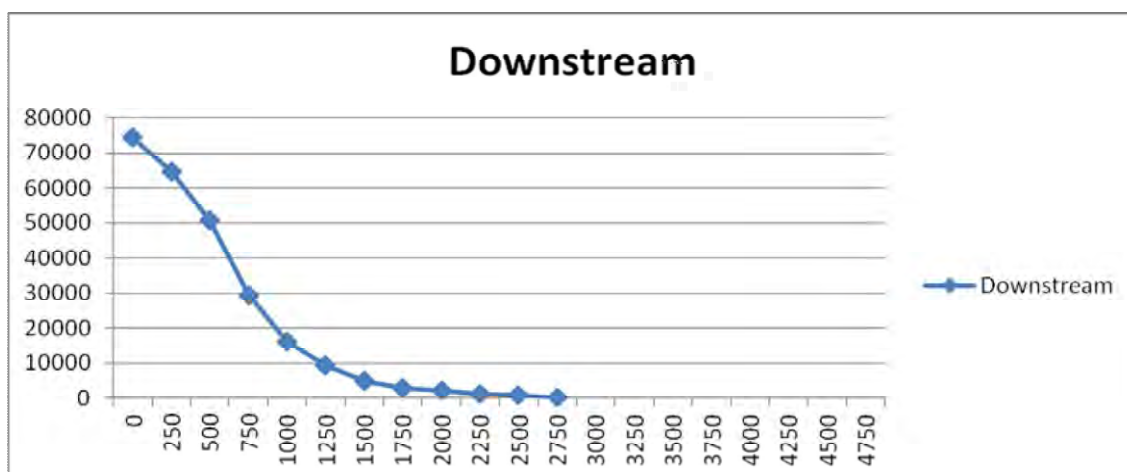


Fig. 7.27 Curva velocidades Downstream VDSL2. Perfil: Sin limitar. Ruido: Modelo 3

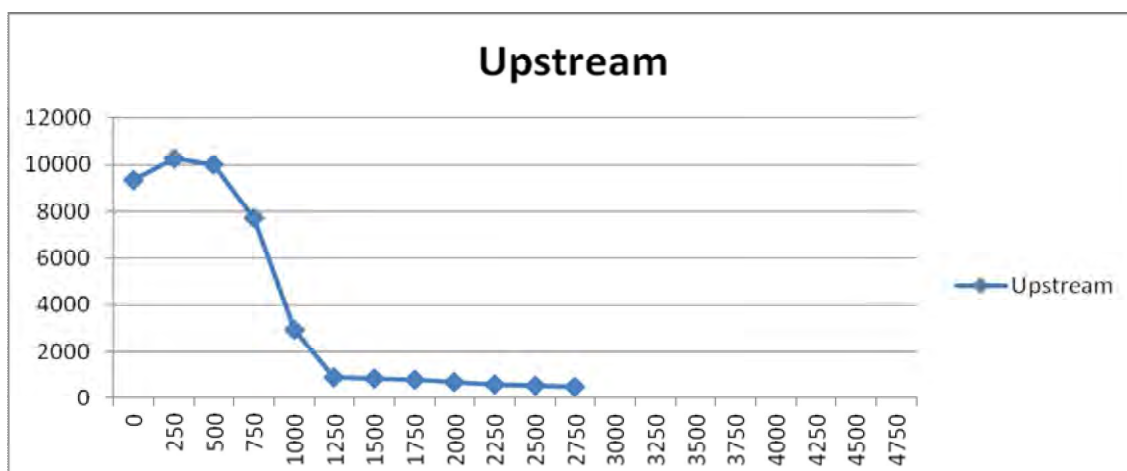


Fig. 7.28 Curva velocidades Upstream VDSL2. Perfil: Sin limitar. Ruido: Modelo 3

7.6.1.3. Modelo 1

DISTANCIA (m)	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)
0	75143	9361
250	65801	10276
500	53134	9840
750	33894	7825
1000	21552	2936
1250	13555	924
1500	6695	870
1750	3668	786
2000	2511	706
2250	1621	622
2500	1025	557
2750	442	481

Tabla 7.11 Resultados simulaciones VDSL2. Perfil: Sin limitar. Ruido: Modelo 1

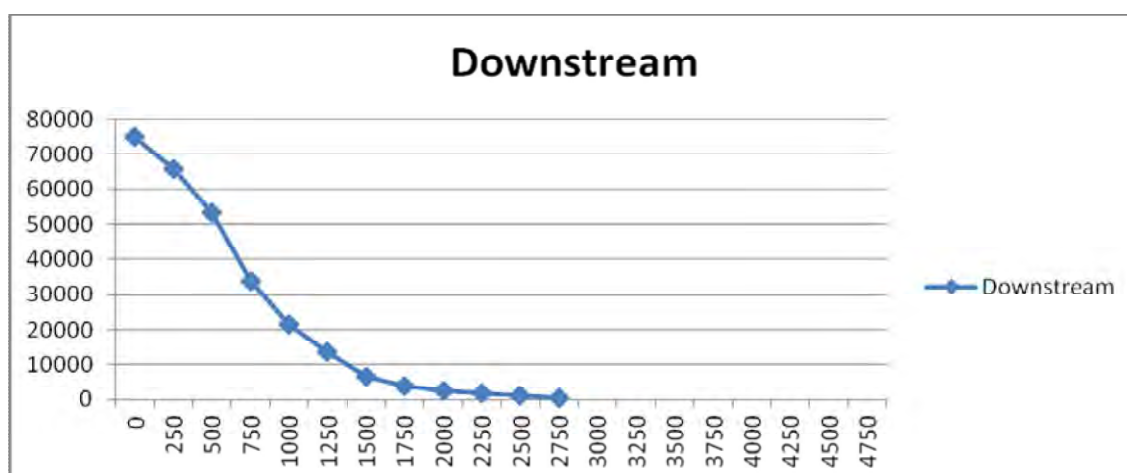


Fig. 7.29 Curva velocidades Downstream VDSL2. Perfil: Sin limitar. Ruido: Modelo 1

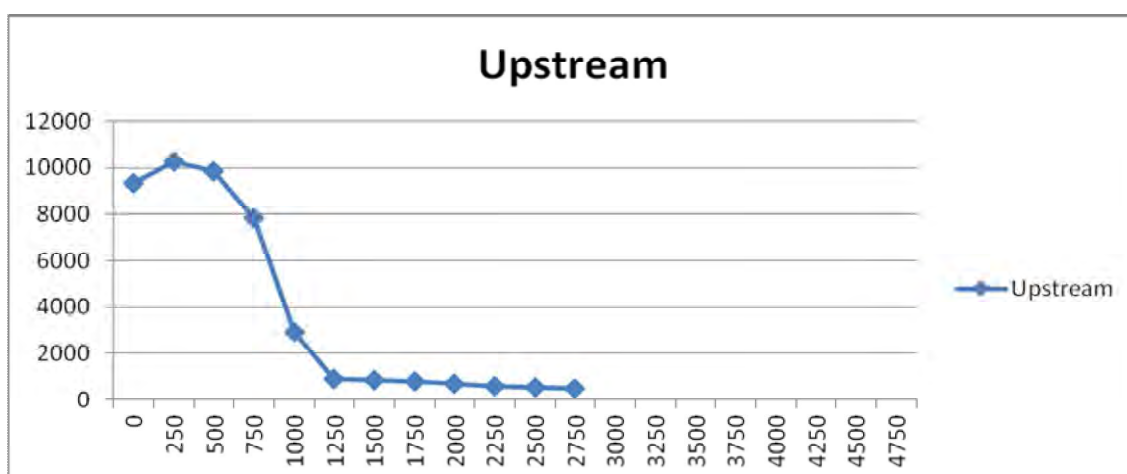


Fig. 7.30 Curva velocidades Upstream VDSL2. Perfil: Sin limitar. Ruido: Modelo 1

7.6.1.4. Modelo 2

DISTANCIA (m)	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)
0	74986	9396
250	65381	10352
500	51597	9947
750	32156	7825
1000	19272	2948
1250	11045	962
1500	5632	902
1750	3508	821
2000	2451	752
2250	1575	657
2500	991	584
2750	446	520

Tabla 7.12 Resultados simulaciones VDSL2. Perfil: Sin limitar. Ruido: Modelo 2

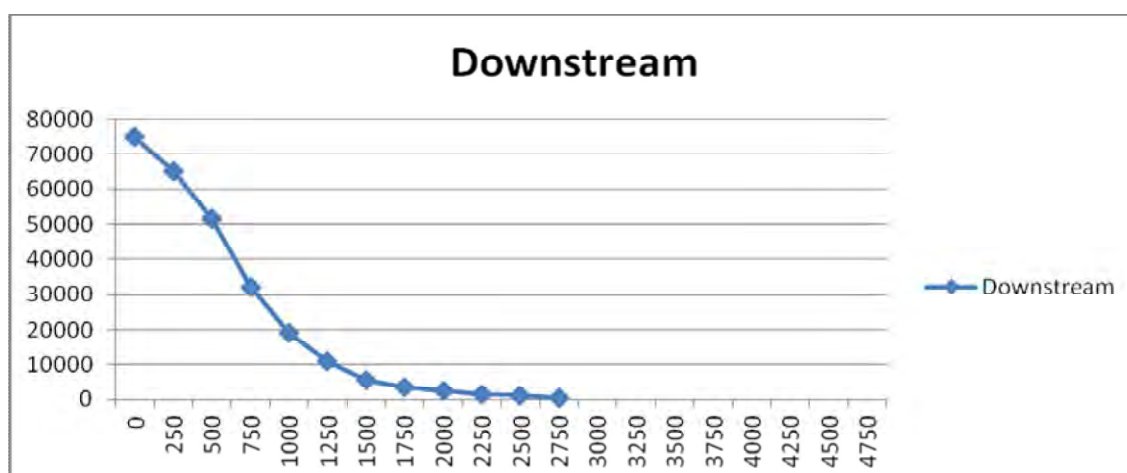


Fig. 7.31 Curva velocidades Downstream VDSL2. Perfil: Sin limitar. Ruido: Modelo 2

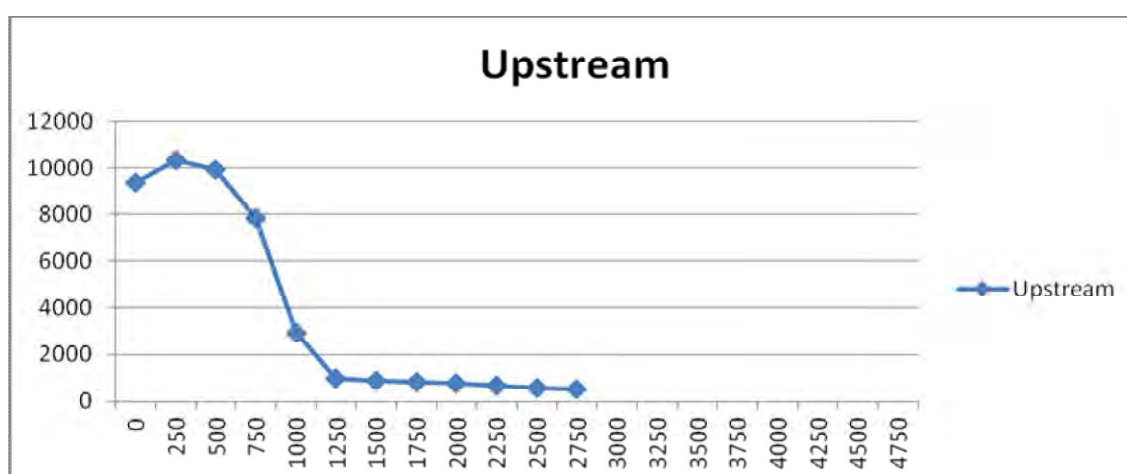


Fig. 7.32 Curva velocidades Upstream VDSL2. Perfil: Sin limitar. Ruido: Modelo 2

7.6.1.5. Comparativa medidas *downstream*

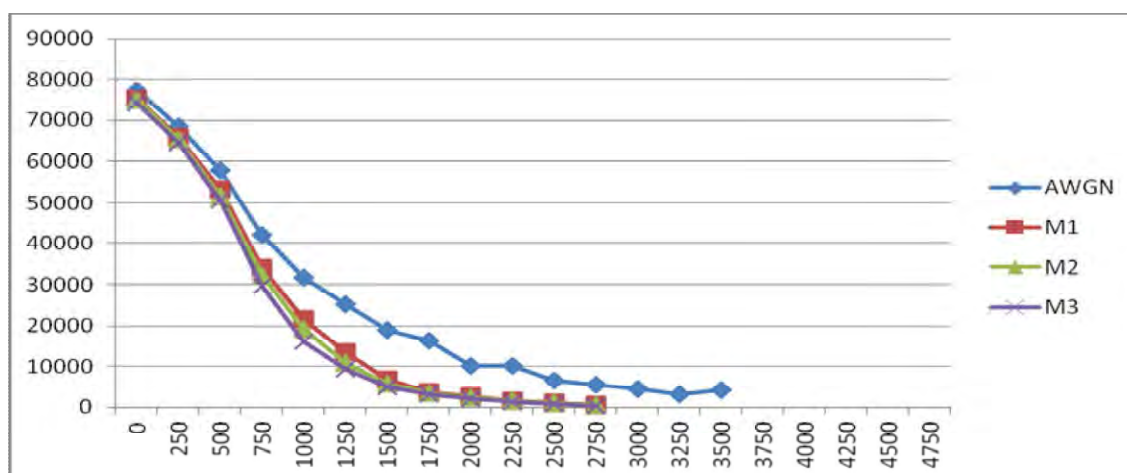


Fig. 7.33 Comparativa curvas Downstream VDSL2. Perfil: Sin limitar

Las velocidades alcanzadas usando el perfil VDSL2 no limitado, son superiores a los 70 Mbps en sentido descendente.

En el escenario en el que se simulan condiciones ideales se alcanzan velocidades superiores a las que se podrían conseguir utilizando tecnología ADSL2+ hasta casi los 1500 metros, siendo de unos 750 o 1000 metros en los escenarios con algún tipo de ruido aplicado en la línea.

Las distancias máximas que se alcanzan sincronizando en VDSL2 son de 3250 metros sin ruido, y de unos 2750 metros si se aplica ruido.

En este caso, la curva que pertenece al escenario en el que solo se aplica Ruido Blanco va por encima y alcanza más distancia, pero con menos diferencia con respecto al resto de escenarios que en el caso de ADSL2+.

7.6.1.6. Comparativa medidas *upstream*

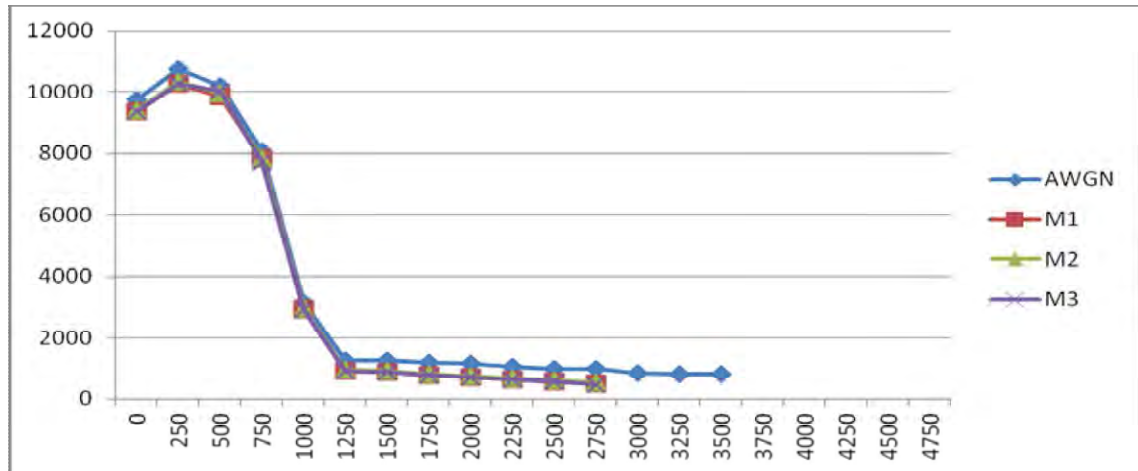


Fig. 7.34 Comparativa curvas Upstream VDSL2. Perfil: Sin limitar

Las velocidades máximas alcanzadas en sentido ascendente usando el perfil de VDSL2 sin limitar la velocidad son de más de 10 Mbps.

En este caso todas las curvas, incluida la del escenario en el que solo se introduce ruido blanco, son muy parecidas. Alcanzan velocidades muy superiores a las que se podrían obtener usando ADSL2+ hasta los 1000 o 1500 metros, dependiendo del caso, pero se observa una caída abrupta de la velocidad a partir de los 500 o 750 metros, donde la atenuación debido a la distancia del par de cobre afecta considerablemente a la velocidad de sincronismo en sentido ascendente.

7.6.2. Perfil limitado a 30 Mbps/3,5 Mbps

7.6.2.1. AWGN

DISTANCIA (m)	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)
0	30718	3583
250	30718	3583
500	30718	3583
750	30718	3583
1000	30718	3147
1250	25291	1249
1500	18986	1260
1750	16458	1192
2000	10412	1160
2250	10103	1065
2500	6418	985
2750	5473	1004
3000	4539	863
3250	3160	814
3500	4295	796
3750	3395	696
4000	2673	679
4250	2574	522
4500	1850	408
4750	1080	270

Tabla 7.13 Resultados simulaciones VDSL2. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Ruido: AWGN

A partir de los 3500 metros deja de sincronizar en VDSL2 para pasar a sincronizar en ADSL2+.

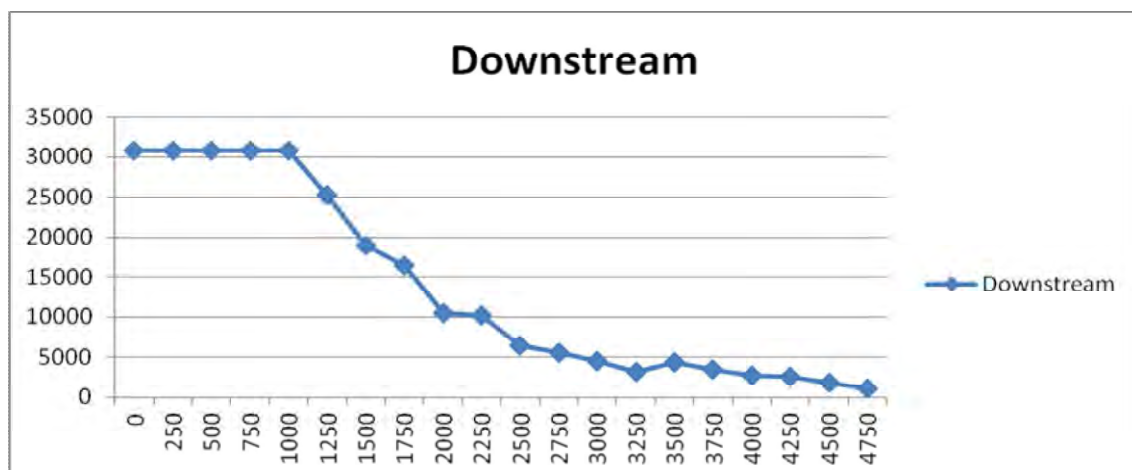


Fig. 7.35 Curva velocidades Downstream VDSL2. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Ruido: AWGN

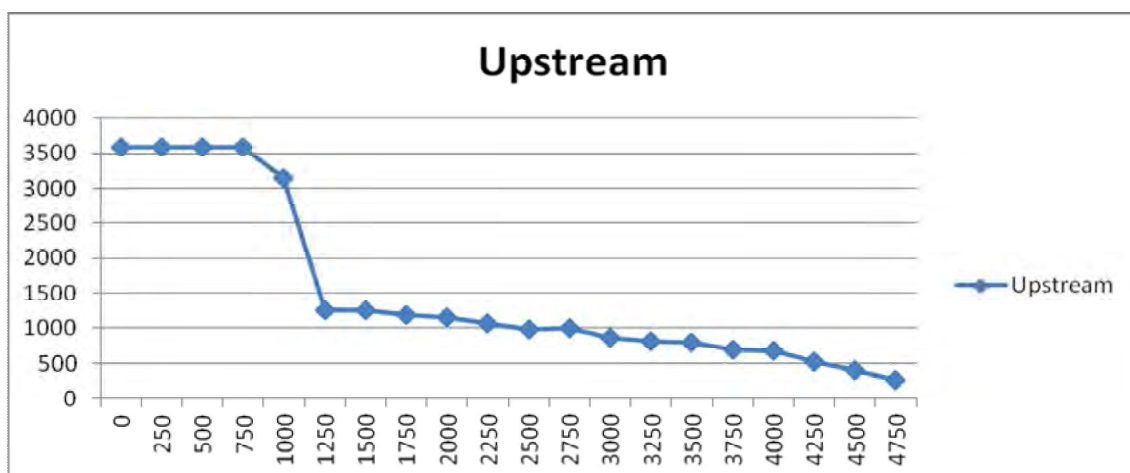


Fig. 7.36 Curva velocidades Upstream VDSL2. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Ruido: AWGN

7.6.2.2. Modelo 3

DISTANCIA (m)	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)
0	30718	3583
250	30718	3583
500	30718	3583
750	29500	3583
1000	16160	2911
1250	9335	924
1500	5028	867
1750	3115	786
2000	2220	710
2250	1347	629
2500	816	557
2750	310	478
3000	503	495
3250	264	411

Tabla 7.14 Resultados simulaciones VDSL2. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Ruido: Modelo 3

A partir de los 3000 metros deja de sincronizar en VDSL2 para pasar a sincronizar en ADSL2+.

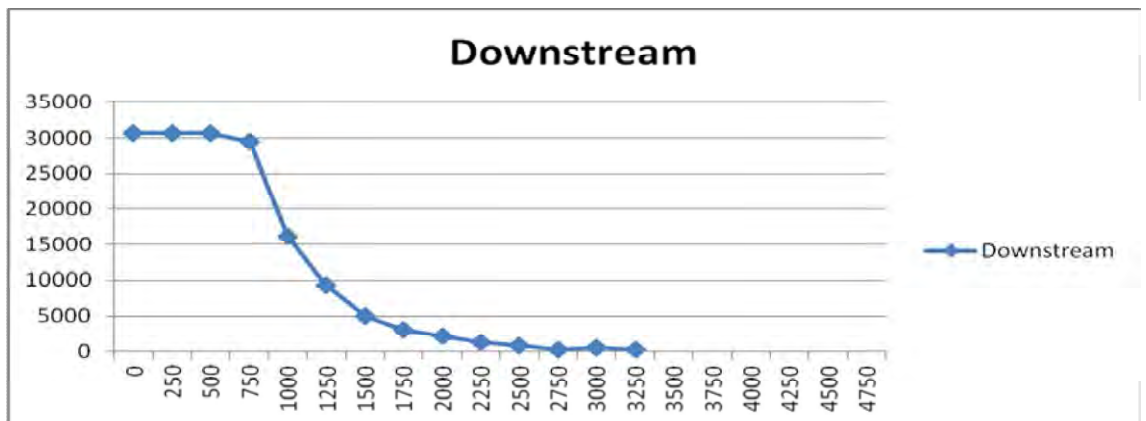


Fig. 7.37 Curva velocidades Downstream VDSL2. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Ruido: Modelo 3

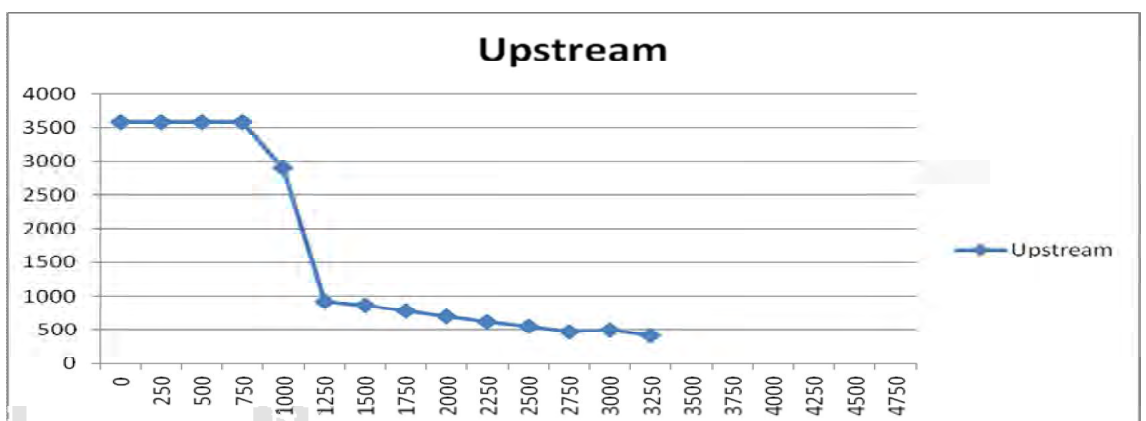


Fig. 7.38 Curva velocidades Upstream VDSL2. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Ruido: Modelo 3

7.6.2.3. Modelo 1

DISTANCIA (m)	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)
0	30718	3583
250	30718	3583
500	30718	3583
750	30719	3583
1000	21579	2940
1250	13532	927
1500	6754	867
1750	3668	786
2000	2477	710
2250	1629	622
2500	1013	553
2750	404	478
3000	611	495
3250	326	415
3500	68	248
3750	68	168

Tabla 7.15 Resultados simulaciones VDSL2. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Ruido: Modelo 1

A partir de los 3000 metros deja de sincronizar en VDSL2 para pasar a sincronizar en ADSL2+.

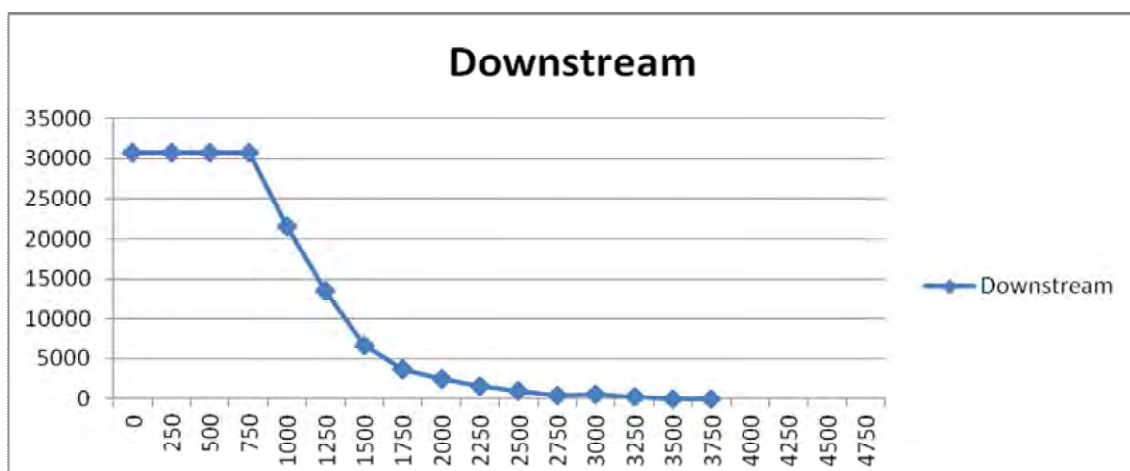


Fig. 7.39 Curva velocidades Downstream VDSL2. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Ruido: Modelo 1

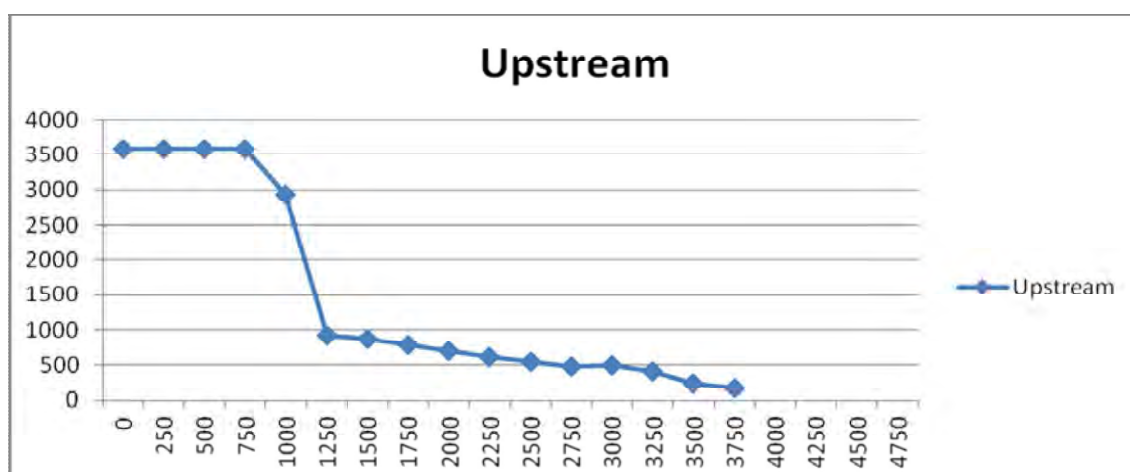


Fig. 7.40 Curva velocidades Upstream VDSL2. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Ruido: Modelo 1

7.6.2.4. Modelo 2

DISTANCIA (m)	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)
0	30718	3583
250	30718	3583
500	30718	3583
750	30720	3583
1000	19306	2955
1250	11071	962
1500	5643	902
1750	3534	825
2000	2413	748
2250	1575	657
2500	969	584
2750	446	520
3000	647	522
3250	379	451
3500	203	354
3750	101	283

Tabla 7.16 Resultados simulaciones VDSL2. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Ruido: Modelo 2

A partir de los 3000 metros deja de sincronizar en VDSL2 para pasar a sincronizar en ADSL2+.

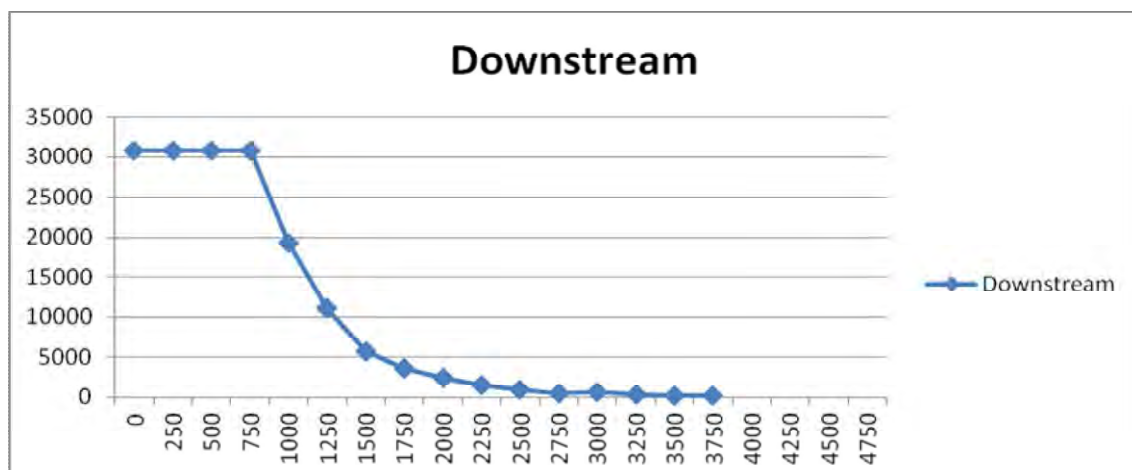


Fig. 7.41 Curva velocidades Downstream VDSL2. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Ruido: Modelo 2

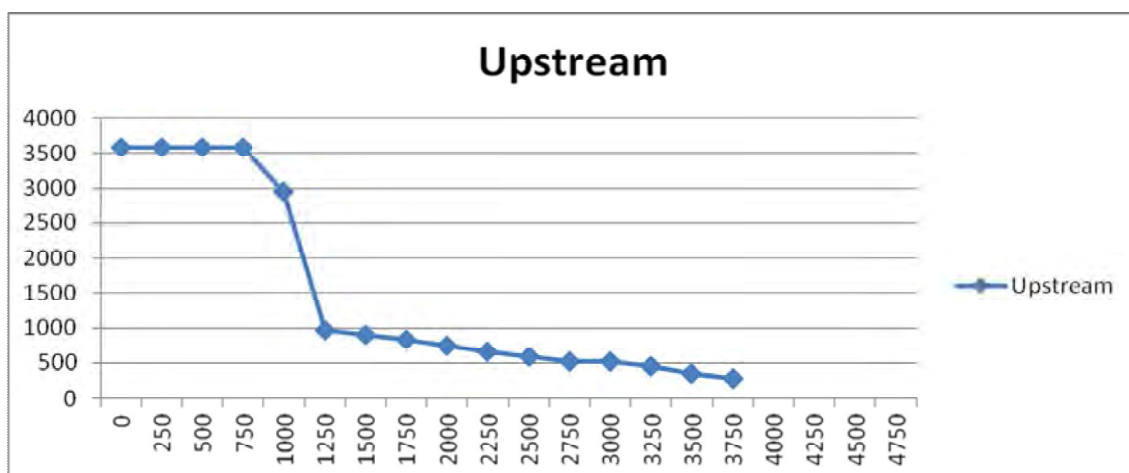


Fig. 7.42 Curva velocidades Upstream VDSL2. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Ruido: Modelo 2

7.6.2.5. Comparativa medidas *downstream*

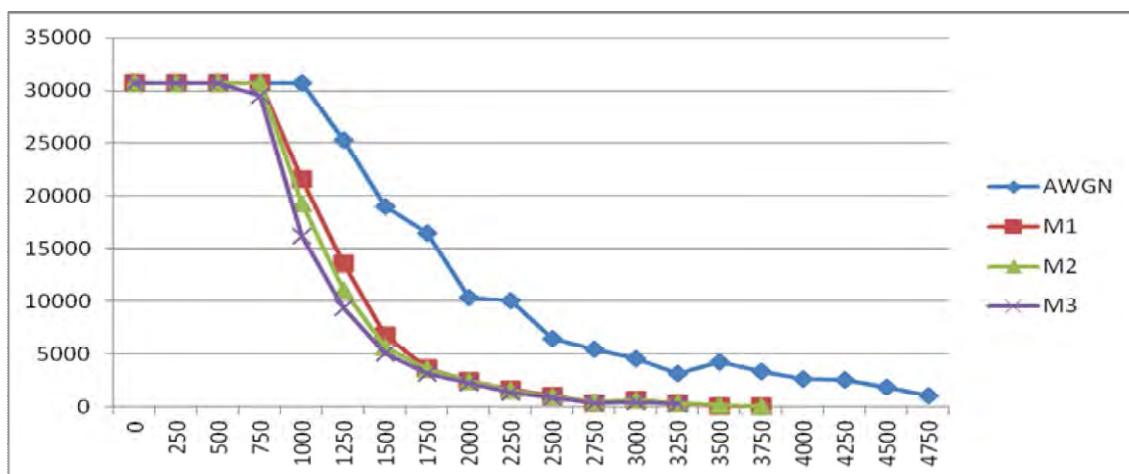


Fig. 7.43 Comparativa curvas Downstream VDSL2. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps

Al limitar el perfil a 30 Mbps en sentido descendente, las gráficas coinciden en las distancias más cortas. Aplicando únicamente ruido blanco se alcanza la velocidad máxima hasta casi los 1000 metros, con los distintos modelos de ruido varía entre los 500 y los 750 metros.

Utilizando este perfil, se alcanzan distancias de unos 3500 metros sincronizando en VDSL2, de 3000 en los modelos con ruido. Estas distancias son ligeramente superiores que las alcanzadas en el perfil sin limitar.

Con este perfil disminuye hasta los 1000 metros la distancia máxima a la que se consiguen velocidades superiores a las que se pueden obtener con ADSL2+, siendo casi 1500 metros en el escenario con condiciones ideales.

7.6.2.6. Comparativa medidas *upstream*

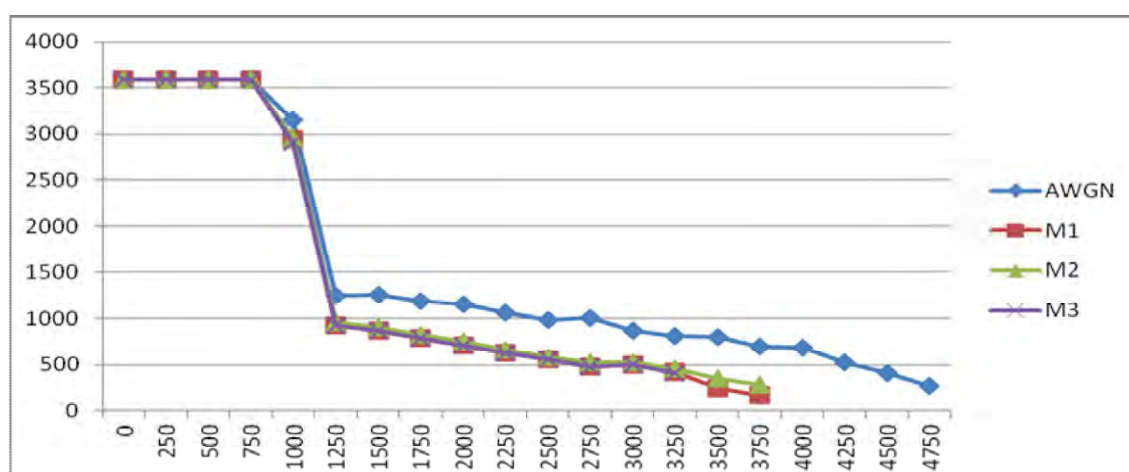


Fig. 7.44 Comparativa curvas Upstream VDSL2. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps

En el sentido ascendente las gráficas de todos los escenarios son muy parecidas hasta alcanzar los 1250 metros de distancia. A partir de los 750 metros, hasta donde sincroniza a la máxima velocidad que permite el perfil, se produce una caída brusca de la velocidad, apenas se mantiene unos metros más que en el caso del perfil de VDSL2 no limitado.

En todos los casos se supera la velocidad que se podría obtener con ADSL2+ hasta los 1000 metros. Es a partir de esta distancia cuando la gráfica del escenario que representa condiciones ideales va sensiblemente por encima del resto.

7.7. Simulaciones VDSL2 bonding

7.7.1. Perfil sin límite de velocidad en cada uno de los canales

7.7.1.1. Pares de la misma longitud

7.7.1.1.1. AWGN + AWGN

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (KBPS)	UPSTREAM (KBPS)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
0	0	80032	20025	40016	10014	40016	10011
250	250	80032	20029	40016	10014	40016	10015
500	500	80032	20030	40016	10016	40016	10014
750	750	80030	16980	40015	8783	40015	8197
1000	1000	65589	7023	33830	3628	31759	3395
1250	1250	51659	2453	26179	1239	25480	1214
1500	1500	36089	2457	18923	1252	17166	1205
1750	1750	30710	2400	16208	1231	14502	1169
2000	2000	18946	2335	10002	1192	8944	1143
2250	2250	18234	2167	9847	1102	8387	1065
2500	2500	12026	2050	6407	1038	5619	1012

Tabla 7.17 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: AWGN+AWG

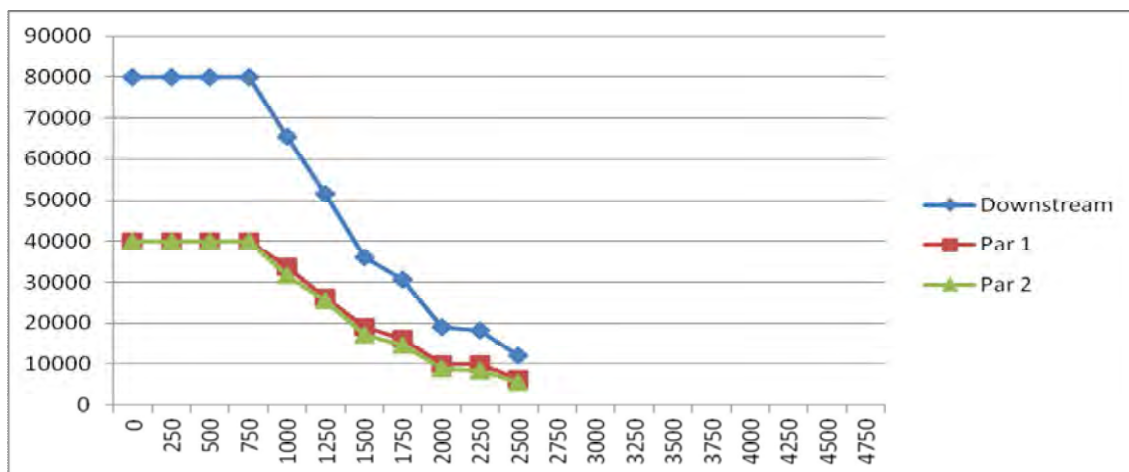


Fig. 7.45 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: AWGN+AWG

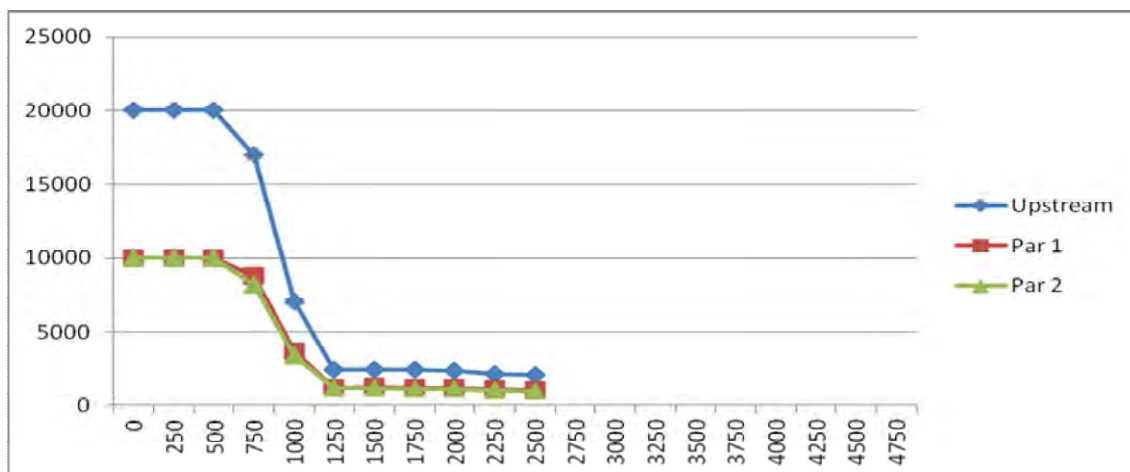


Fig. 7.46 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: AWGN+AWG

7.7.1.1.2. Modelo 3 + Modelo 3

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (KBPS)	UPSTREAM (KBPS)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
0	0	80032	19855	40016	9839	40016	10016
250	250	80032	20030	40016	10014	40016	10016
500	500	80032	19966	40016	10007	40016	9959
750	750	59335	16323	31148	8490	28187	7833
1000	1000	31567	6778	16406	3468	15161	3310
1250	1250	17640	1809	9458	928	8182	881
1500	1500	9592	1691	5073	870	4519	821
1750	1750	6011	1538	3168	790	2843	748
2000	2000	4196	1397	2200	714	1996	683
2250	2250	2543	1205	1369	629	1174	576

Tabla 7.18 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: M3+M3

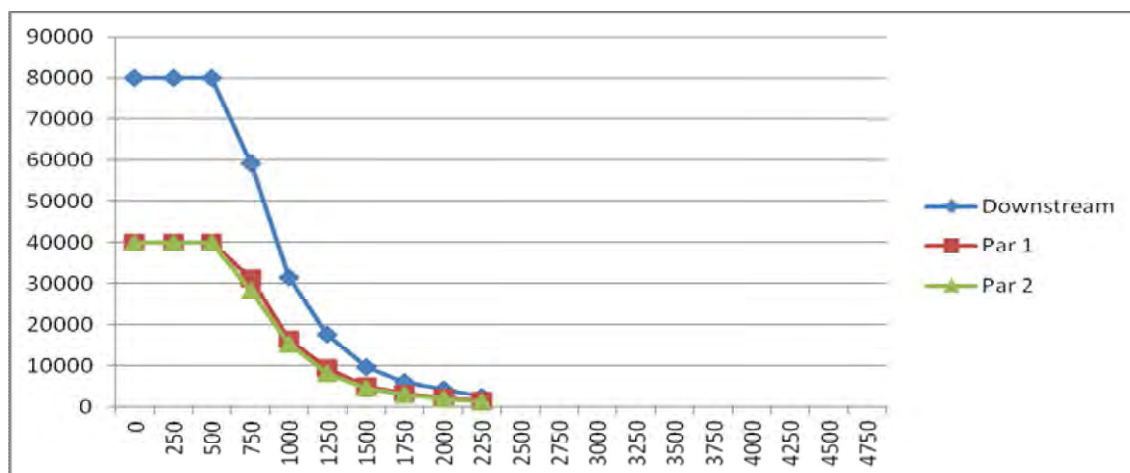


Fig. 7.47 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: M3+M3

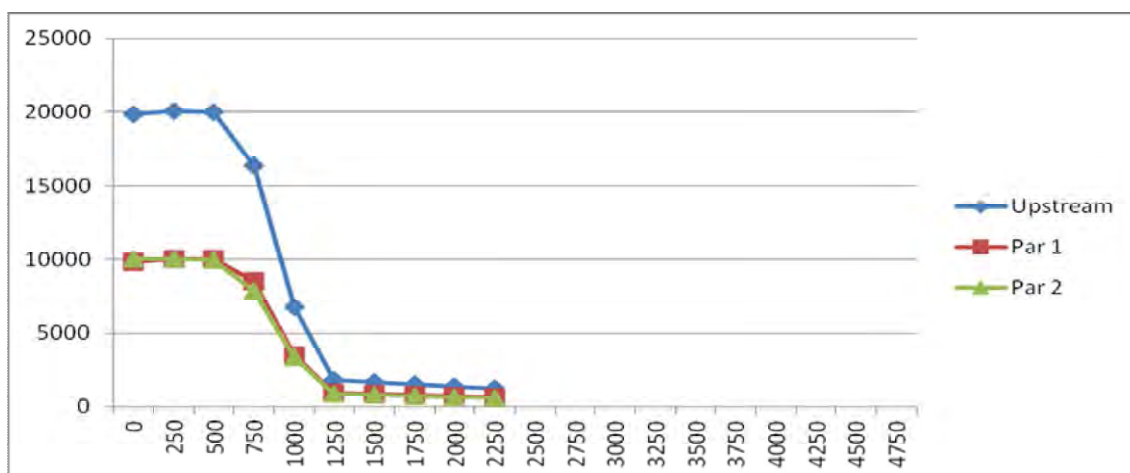


Fig. 7.48 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: M3+M3

7.7.1.1.3. AWGN + Modelo 3

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (KBPS)	UPSTREAM (KBPS)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
0	0	80032	19971	40016	9955	40016	10016
250	250	80032	20029	40016	10014	40016	10015
500	500	80032	20030	40016	10016	40016	10014
750	750	71162	16682	31147	8478	40015	8204
1000	1000	48194	6882	16432	3472	31762	3410
1250	1250	34998	2131	9474	924	25524	1207
1500	1500	22320	2071	5077	870	17243	1201
1750	1750	17628	1959	3157	790	14471	1169
2000	2000	11092	1860	2200	717	8892	1143
2250	2250	9872	1687	1376	625	8496	1062
2500	2500	6468	1568	834	549	5634	1019
2750	2750	7275	1454	336	481	6939	973

Tabla 7.19 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: AWGN+M3

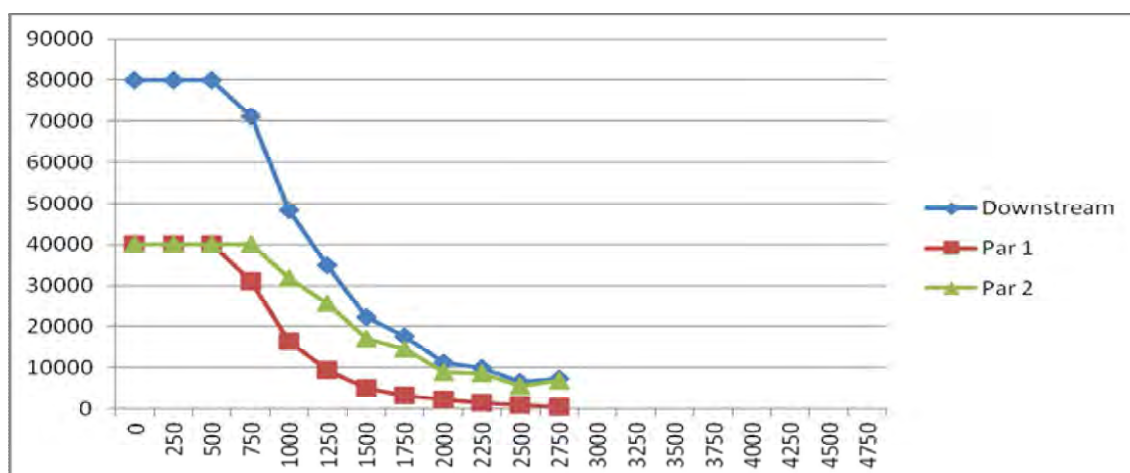


Fig. 7.49 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: AWGN+M3

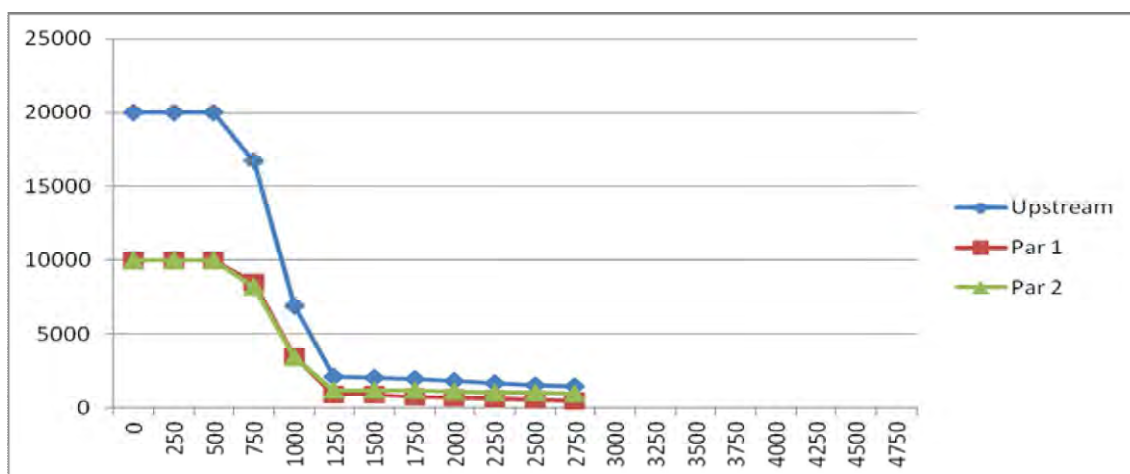


Fig. 7.50 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: AWGN+M3

7.7.1.1.4. Modelo 1 + Modelo 1

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (KBPS)	UPSTREAM (KBPS)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
0	0	80032	19844	40016	9828	40016	10016
250	250	80032	20029	40016	10014	40016	10015
500	500	80032	20015	40016	10015	40016	10000
750	750	68908	16408	36332	8496	32576	7912
1000	1000	44272	6595	23191	3429	21081	3166
1250	1250	26217	1815	13811	931	12406	884
1500	1500	12923	1688	6871	867	6052	821
1750	1750	6660	1493	3366	748	3294	745
2000	2000	4279	1024	2037	341	2242	683
2250	2250	3069	1201	1617	625	1452	576

Tabla 7.20 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: M1+M1

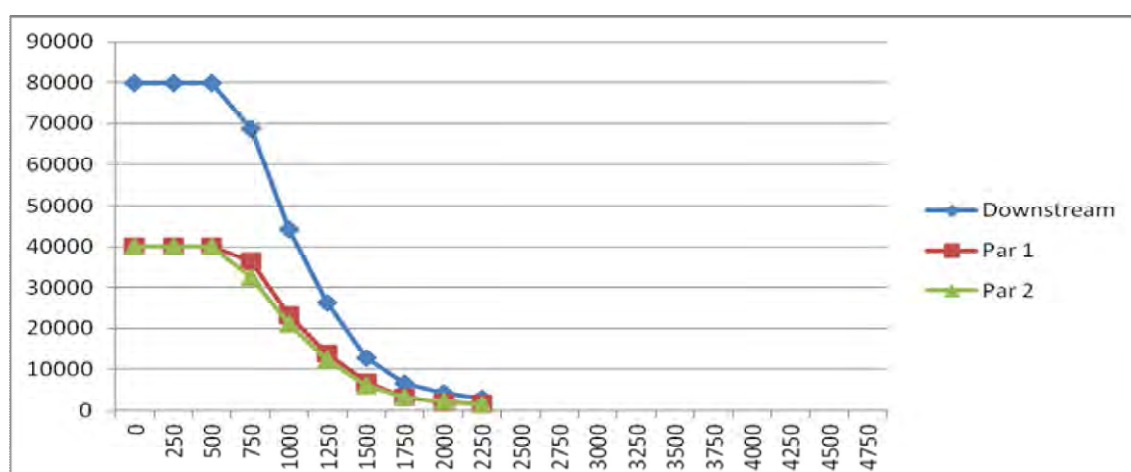


Fig. 7.51 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: M1+M1

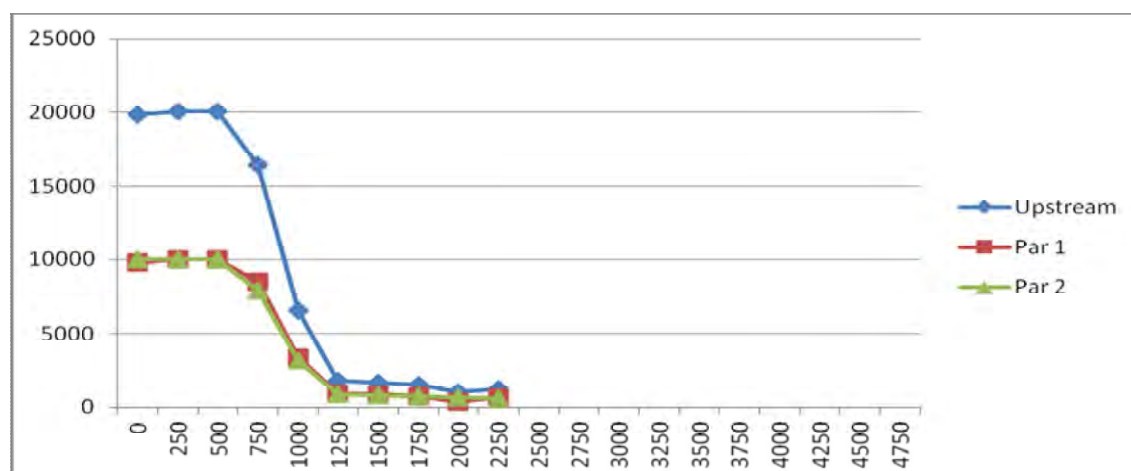


Fig. 7.52 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: M1+M1

7.7.1.1.5. Modelo 2 + Modelo 2

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (KBPS)	UPSTREAM (KBPS)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
0	0	80032	19962	40016	9947	40016	10015
250	250	80032	20025	40016	10015	40016	10010
500	500	80032	19696	40016	10015	40016	9681
750	750	64719	15915	34044	8534	30675	7381
1000	1000	37638	6266	20020	3454	17618	2812
1250	1250	20999	1883	11183	970	9816	913
1500	1500	10637	1760	5579	905	5058	855
1750	1750	6553	1611	3359	829	3194	782
2000	2000	4655	1469	2477	752	2178	717
2250	2250	3015	1270	1594	664	1421	606
2500	2500	1855	1117	1036	587	819	530
2750	2750	822	996	450	518	372	478

Tabla 7.21 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: M2+M2

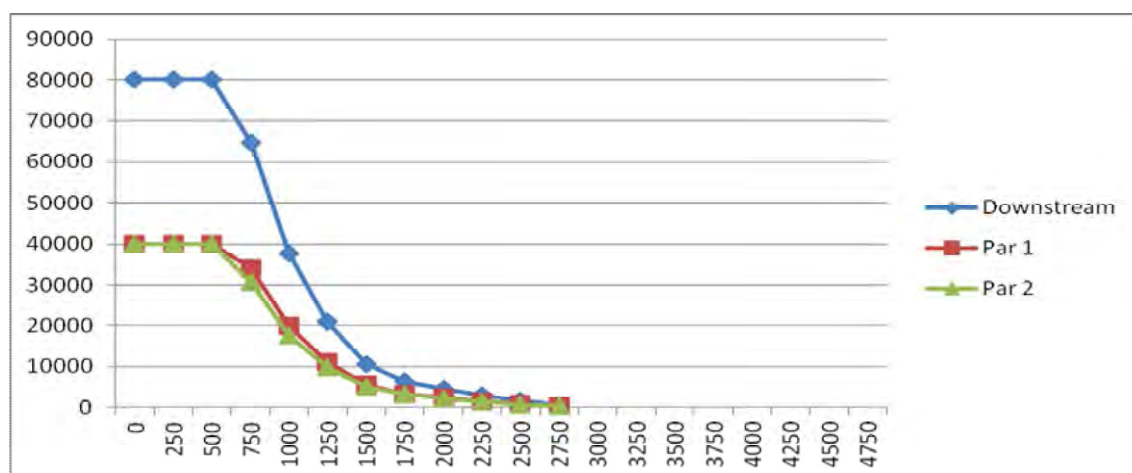


Fig. 7.53 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: M2+M2

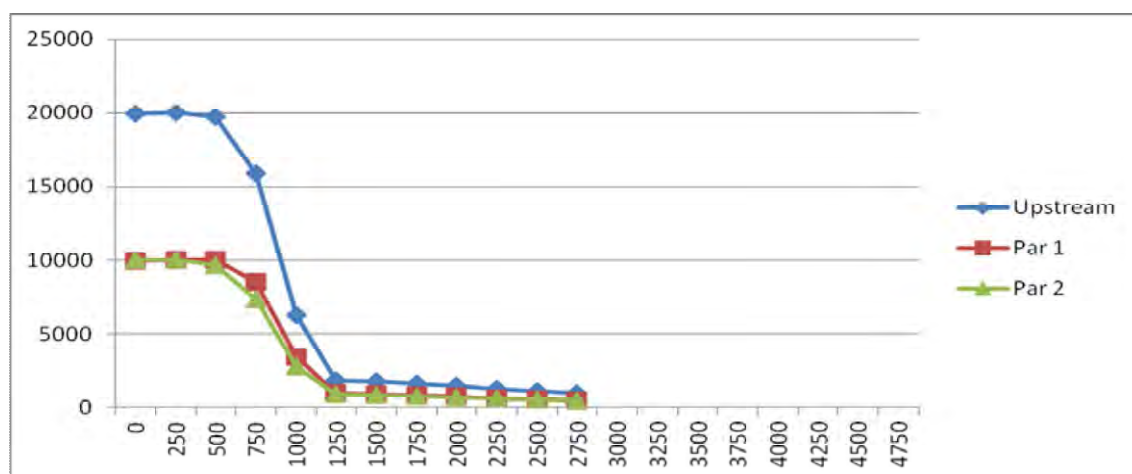


Fig. 7.54 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: M2+M2

7.7.1.1.6. Modelo 1 + Modelo 2

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (KBPS)	UPSTREAM (KBPS)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
0	0	80032	19893	40016	9878	40016	10015
250	250	80032	20031	40016	10015	40016	10016
500	500	80032	20020	40016	10015	40016	10005
750	750	65872	16108	33984	8548	31888	7560
1000	1000	41151	6485	20050	3439	21101	3046
1250	1250	23637	1847	11209	966	12428	881
1500	1500	11696	1734	5625	909	6071	825
1750	1750	6926	1573	3598	825	3328	748
2000	2000	4712	1435	2477	752	2235	683
2250	2250	3070	1238	1618	664	1452	574

Tabla 7.22 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: M1+M2

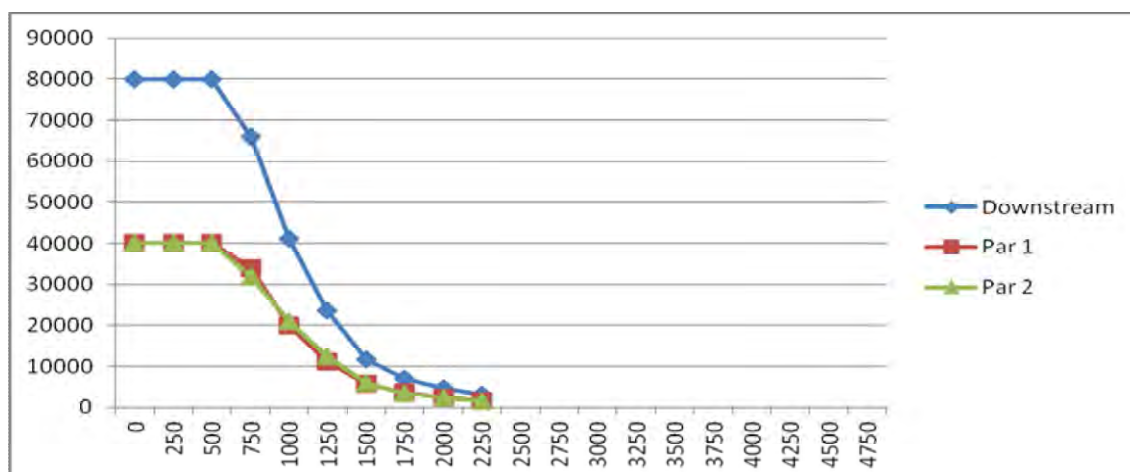


Fig. 7.55 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: M1+M2

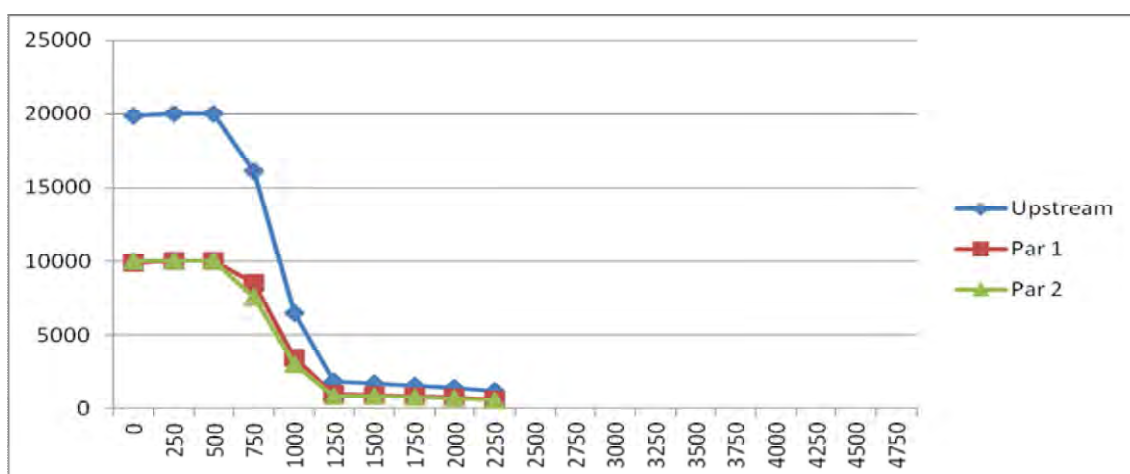


Fig. 7.56 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: M1+M2

7.7.1.1.7. Comparativa medidas downstream

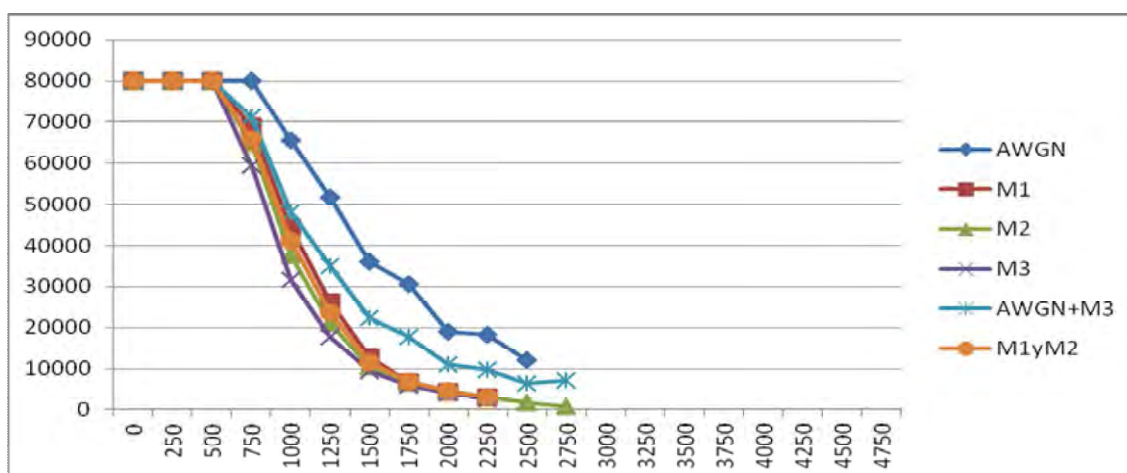


Fig. 7.57 Comparativa curvas Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 0m

Uniendo dos pares de la misma longitud se pueden alcanzar velocidades de unos 80 Mbps hasta distancias de más de 500 metros, llegando a los 750 en condiciones ideales.

Usando esta tecnología no se alcanzan distancias de más de 3000, de hecho en la mayoría de los casos por debajo de esta distancia ya no es posible sincronizar.

Una vez más los escenarios en los que se aplica ruido ofrecen todos resultados muy parecidos.

7.7.1.1.8. Comparativa medidas upstream

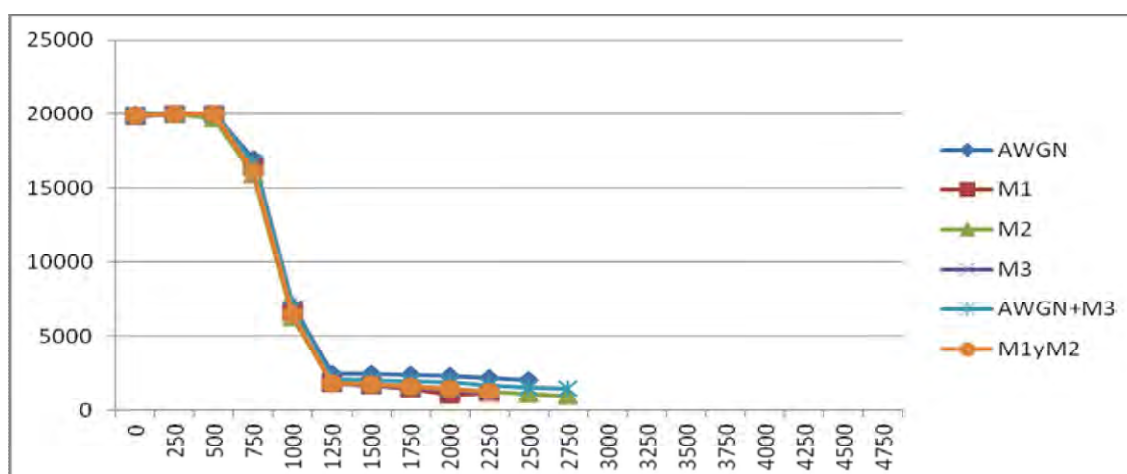


Fig. 7.58 Comparativa curvas Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 0m

En sentido ascendente podemos obtener velocidades de sincronismo de hasta 20 Mbps, y superiores a los 15 Mbps para distancias por debajo de los 1000 metros. Como sucedía en las gráficas de VDSL2, a partir de esta distancia el descenso en la velocidad de sincronismo es muy brusco.

7.7.1.2. Pares con una diferencia de 400m de longitud

7.7.1.2.1. AWGN + AWGN

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (KBPS)	UPSTREAM (KBPS)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
400	0	80032	19826	40016	10015	40016	9801
650	250	80032	20032	40016	10016	40016	10016
900	500	77829	15586	37813	5572	40016	10014
1150	750	69712	9885	29697	1681	40015	8204
1400	1000	52499	2398	21467	1260	31032	1138
1650	1250	43237	2448	17770	1237	25467	1211
1900	1500	28986	2405	11705	1200	17281	1205
2150	1750	25480	2319	10932	1146	14548	1173
2400	2000	15738	2201	6847	1058	8891	1143
2650	2250	14913	2130	6436	1065	8477	1065
2900	2500	10719	1822	3837	852	6882	970

Tabla 7.23 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: AWGN+AWG

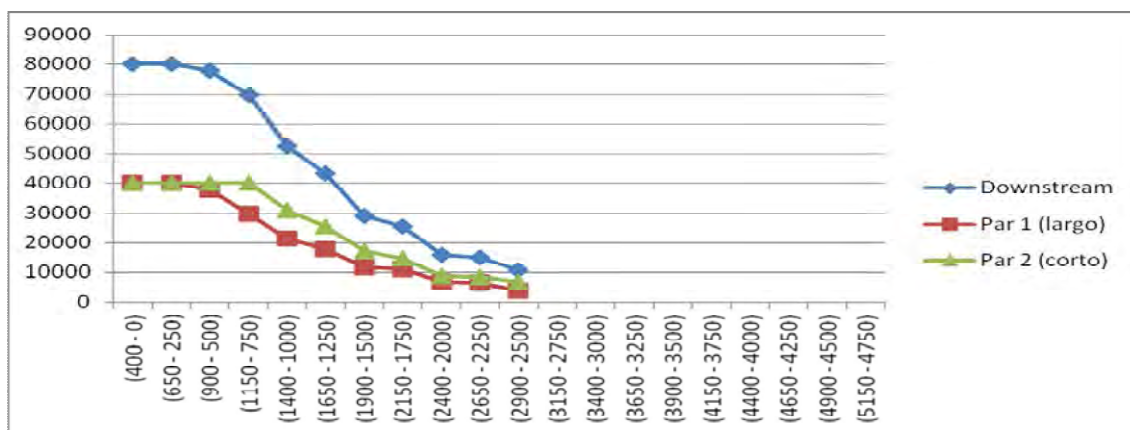


Fig. 7.59 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: AWGN+AWG

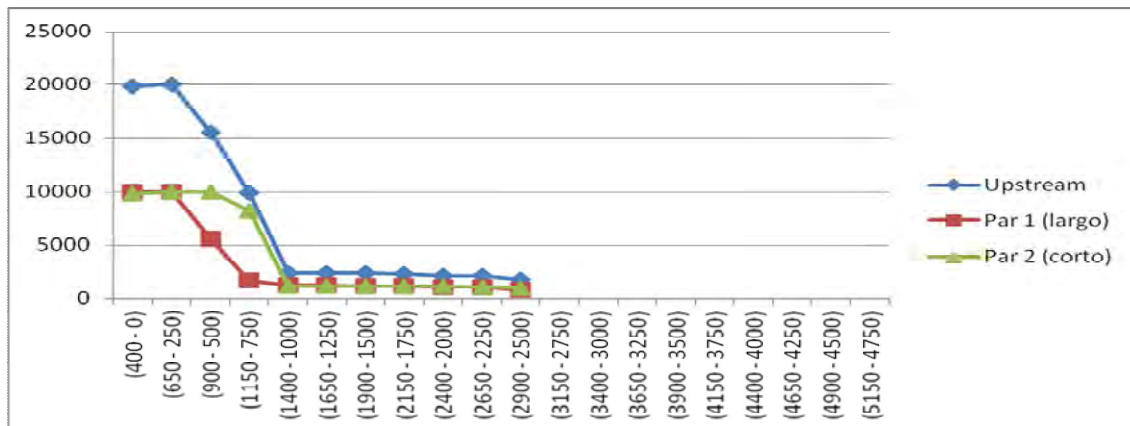


Fig. 7.60 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: AWGN+AWG

7.7.1.2.2. Modelo 3 + Modelo 3

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (KBPS)	UPSTREAM (KBPS)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
400	0	80032	19454	40016	10016	40016	9438
650	250	78943	20012	38927	10015	40016	9997
900	500	62088	15332	22072	5317	40016	10015
1150	750	40063	9207	11888	1344	28715	7863
1400	1000	21463	1859	6364	905	15099	954
1650	1250	11933	1699	3732	821	8201	878
1900	1500	7119	1566	2608	748	4511	818
2150	1750	4469	1406	1641	661	2828	745
2400	2000	2967	1263	1013	580	1954	683
2650	2250	1650	1101	479	525	1171	576

Tabla 7.24 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: M3+M3

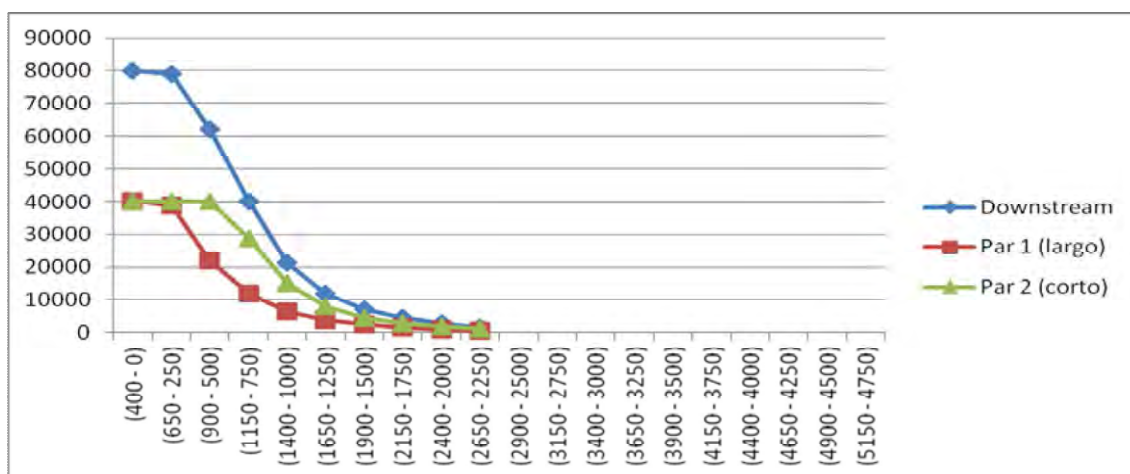


Fig. 7.61 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: M3+M3

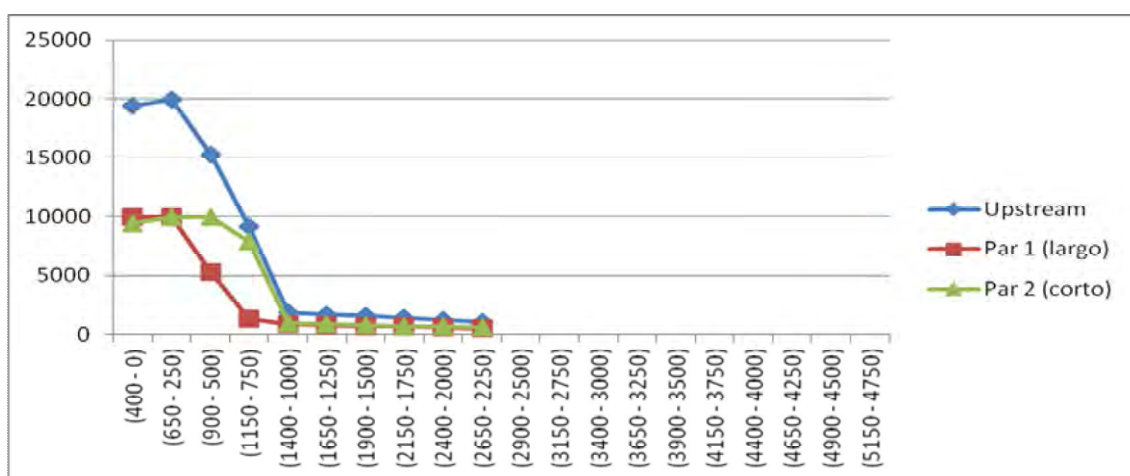


Fig. 7.62 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: M3+M3

7.7.1.2.3. AWGN + Modelo 3

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (KBPS)	UPSTREAM (KBPS)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
400	0	80032	19728	40016	10016	40016	9712
650	250	78040	20031	38024	10015	40016	10016
900	500	62137	15314	22121	5298	40016	10016
1150	750	51907	9562	11892	1362	40015	8200
1400	1000	37406	2043	6360	909	31046	1134
1650	1250	29291	2032	3750	821	25541	1211
1900	1500	19745	1954	2608	745	17137	1209
2150	1750	16094	1834	1634	661	14460	1173
2400	2000	9996	1727	1022	584	8974	1143
2650	2250	9017	1590	465	525	8552	1065

Tabla 7.25 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: AWGN+M3

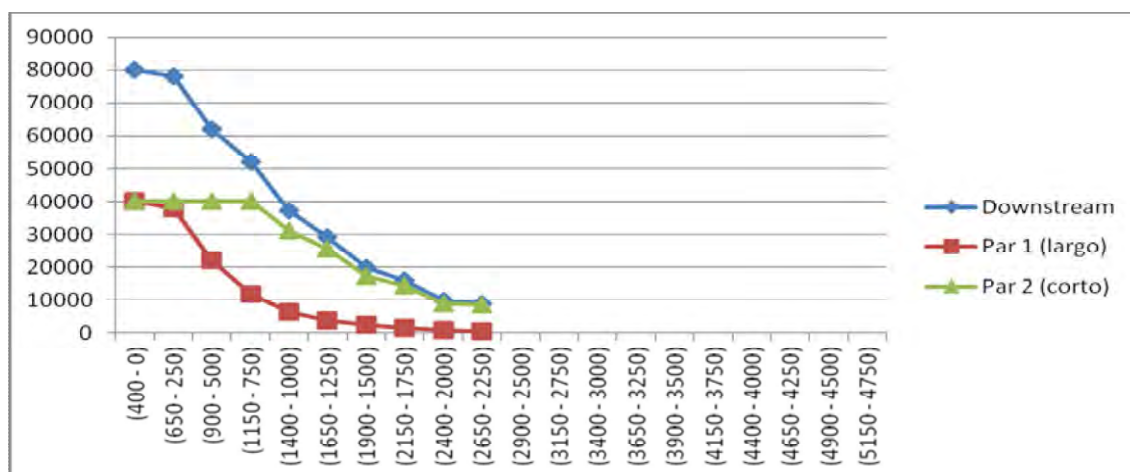


Fig. 7.63 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: AWGN+M3

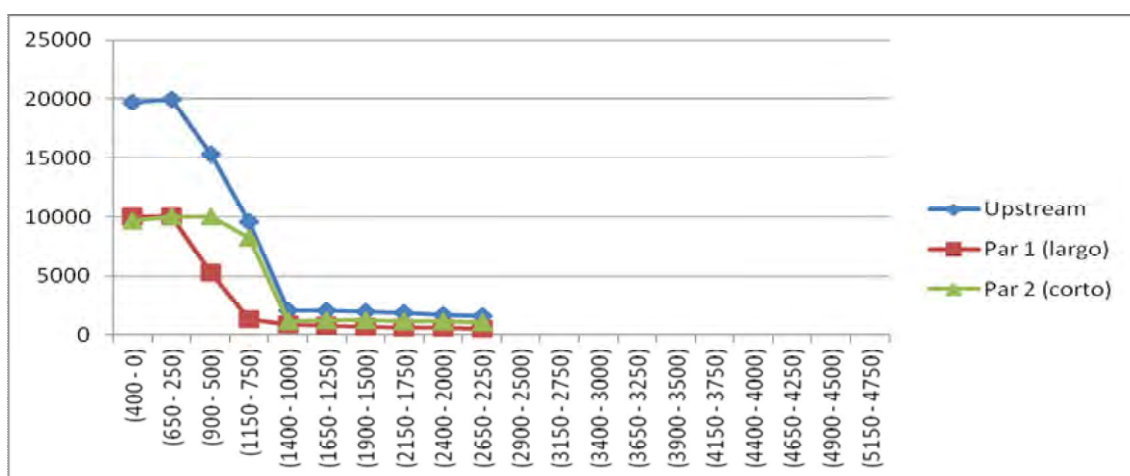


Fig. 7.64 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: AWGN+M3

7.7.1.2.4. Modelo 1 + Modelo 1

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (KBPS)	UPSTREAM (KBPS)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
400	0	80032	19377	40016	10016	40016	9361
650	250	80032	20032	40016	10016	40016	10016
900	500	67821	15330	27805	5314	40016	10016
1150	750	49868	9285	17298	1353	32570	7932
1400	1000	29938	1834	9246	905	20692	929
1650	1250	16589	1706	4217	825	12372	881
1900	1500	8640	1516	2577	691	6063	825
2150	1750	5223	1409	1925	661	3298	748
2400	2000	3487	1267	1241	584	2246	683
2650	2250	2068	1101	634	525	1434	576

Tabla 7.26 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: M1+M1

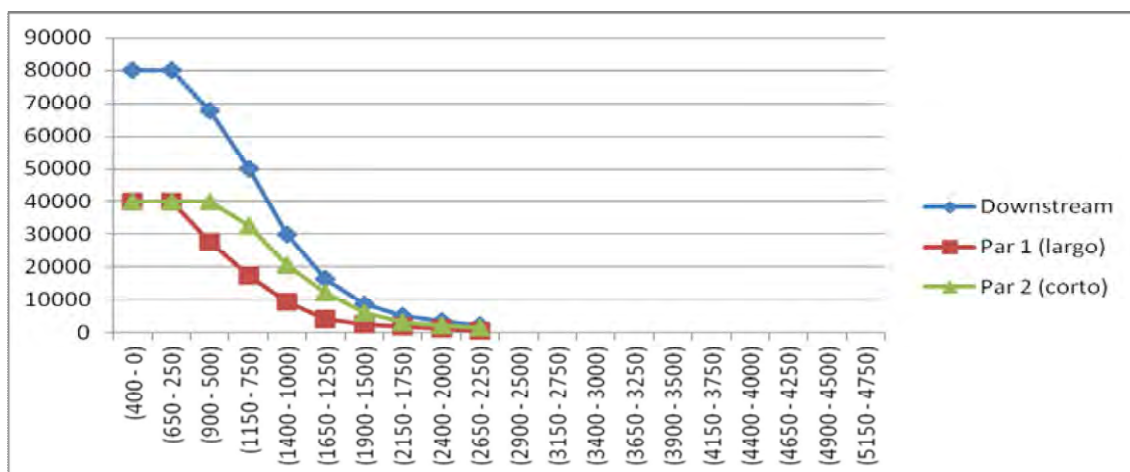


Fig. 7.65 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: M1+M1

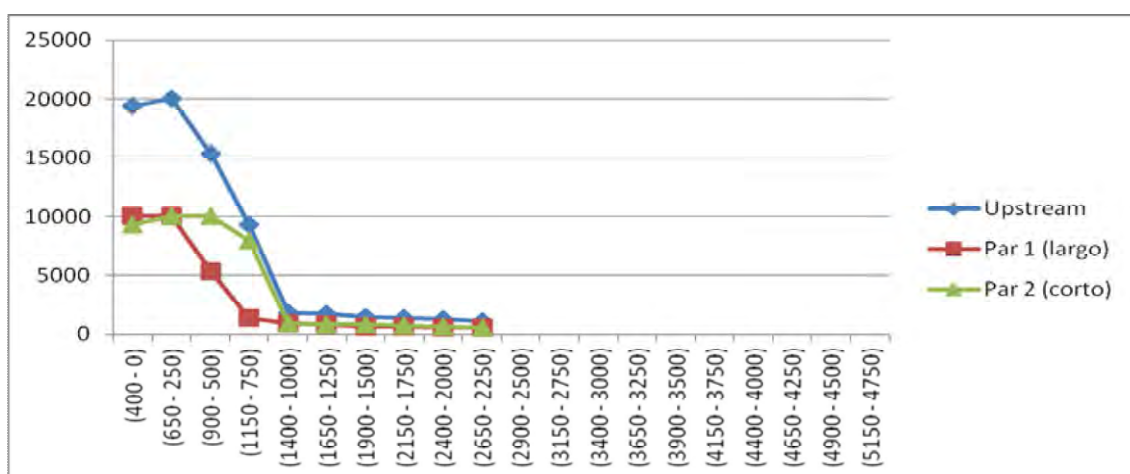


Fig. 7.66 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: M1+M1

7.7.1.2.5. Modelo 2 + Modelo 2

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (KBPS)	UPSTREAM (KBPS)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
400	0	80032	19458	40016	10015	40016	9443
650	250	80031	19314	40015	10015	40016	9299
900	500	65124	14589	25108	5362	40016	9227
1150	750	44749	8503	14113	1410	30636	7093
1400	1000	24845	1927	7391	943	17454	984
1650	1250	13810	1776	4001	859	9809	917
1900	1500	7856	1641	2791	786	5065	855
2150	1750	5133	1474	1928	695	3205	779
2400	2000	3458	1332	1234	618	2224	714
2650	2250	2053	1170	634	560	1419	610
2900	2500	1091	995	275	462	816	533

Tabla 7.27 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: M2+M2

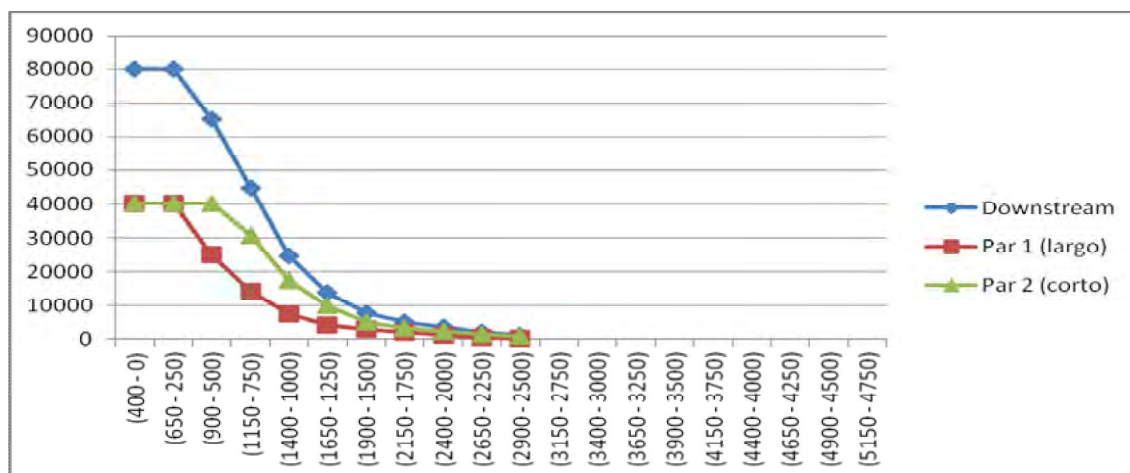


Fig. 7.67 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: M2+M2

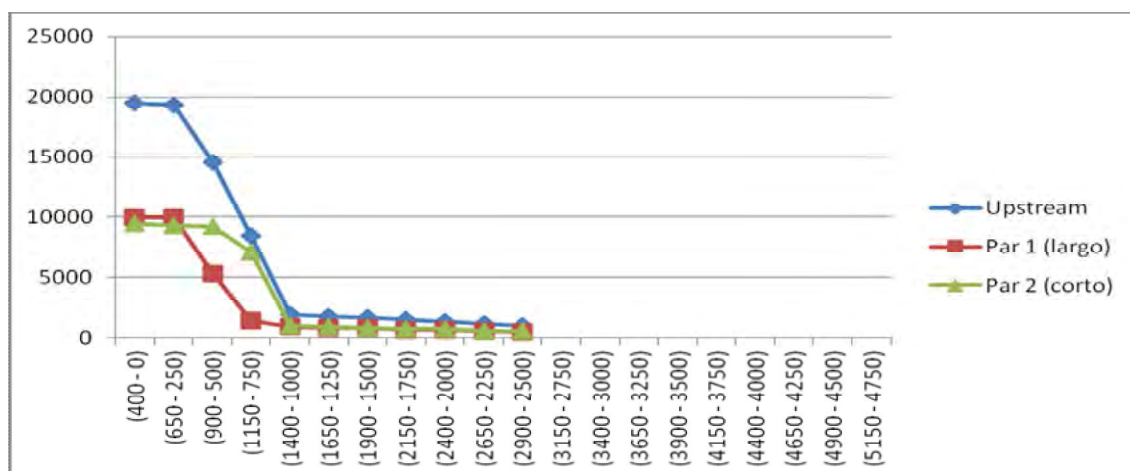


Fig. 7.68 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: M2+M2

7.7.1.2.6. Modelo 1 + Modelo 2

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (KBPS)	UPSTREAM (KBPS)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
400	0	80032	19525	40016	10015	40016	9510
650	250	80030	19920	40014	10015	40016	9905
900	500	65172	15289	25156	5381	40016	9908
1150	750	46643	9157	14117	1404	32526	7753
1400	1000	28036	1876	7383	943	20653	933
1650	1250	16585	1743	4202	859	12383	884
1900	1500	8903	1600	2832	779	6071	821
2150	1750	5237	1447	1928	699	3309	748
2400	2000	3468	1298	1219	618	2249	680
2650	2250	2094	1136	653	560	1441	576
2900	2500	1094	965	278	466	816	499

Tabla 7.28 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: M1+M2

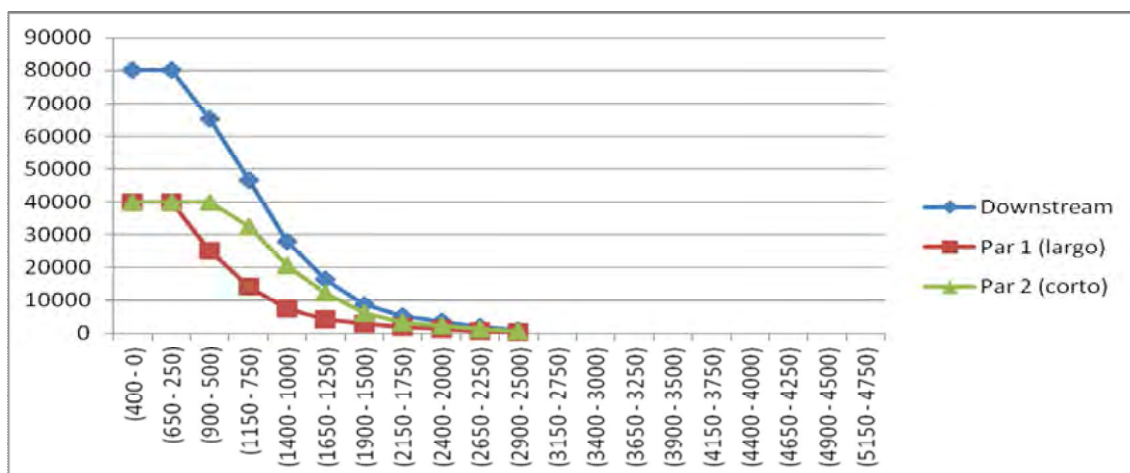


Fig. 7.69 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: M1+M2

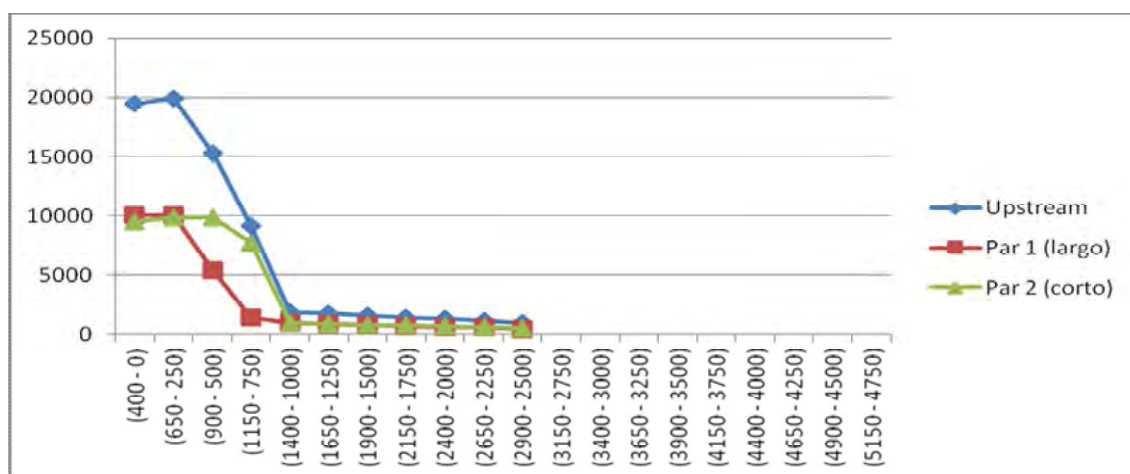


Fig. 7.70 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: M1+M2

7.7.1.2.7. Comparativas medidas downstream

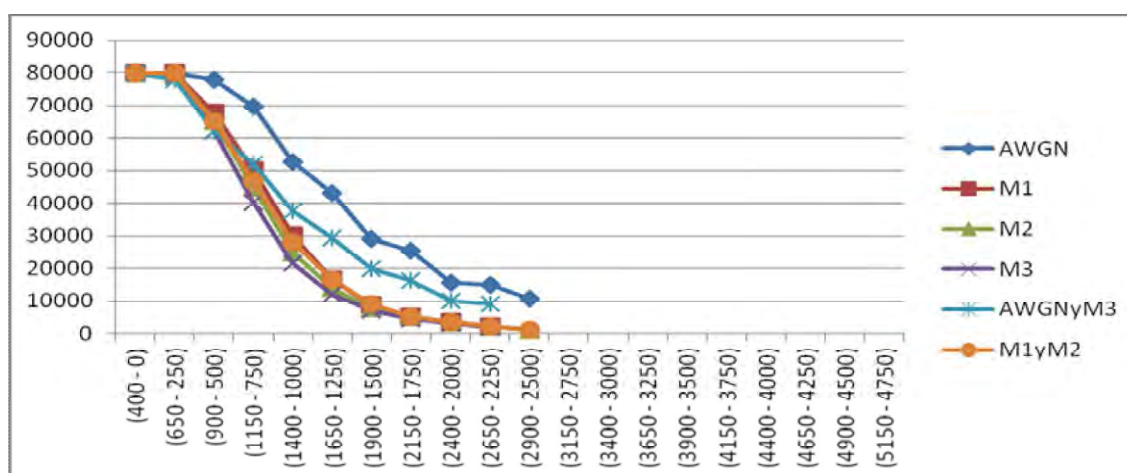


Fig. 7.71 Comparativa curvas Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 400m

Existe la posibilidad de que los bucles sean de longitudes distintas. En esta gráfica se muestran las velocidades alcanzadas cuando el grupo está compuesto por dos bucles con una diferencia de 400 metros entre ambos.

Antes se ha comprobado que la máxima velocidad se obtenía hasta distancias de unos 500 o 750 metros, por lo que en este caso solo se consiguen cuando el bucle más corto tiene una distancia de máximo 250 metros.

En próximas comparativas se verá en qué condiciones el VDSL2 *bonding* ofrece ventajas sobre otras tecnologías.

7.7.1.2.8. Comparativa medidas upstream

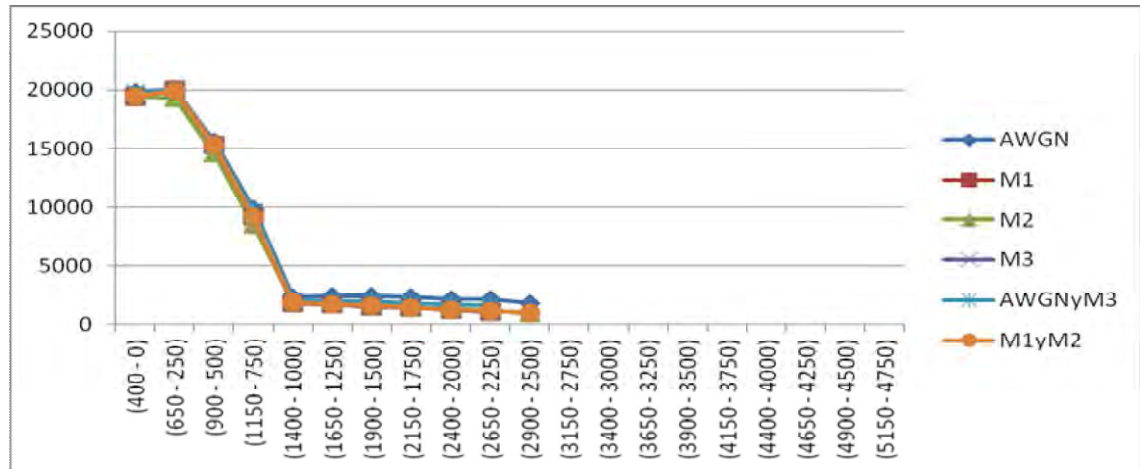


Fig. 7.72 Comparativa curvas Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 400m

Lo mismo ocurre en las velocidades de sincronismo en sentido ascendente con bucles con 400 metros de diferencia.

En este caso además, se añade que las velocidades máximas a las que sincroniza el grupo, depende de la distancia del bucle más largo.

7.7.1.3. Pares con una diferencia de 700m de longitud

7.7.1.3.1. AWGN + AWGN

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (KBPS)	UPSTREAM (KBPS)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
700	0	73228	15575	33212	9685	40016	5890
950	250	73026	14404	33010	4389	40016	10015
1200	500	67063	11178	27047	1163	40016	10015
1450	750	61840	2436	21825	1245	40015	1191
1700	1000	45537	2357	14578	1223	30959	1134
1950	1250	38631	2414	13116	1200	25515	1214
2200	1500	25573	2322	8451	1117	17122	1205
2450	1750	22851	2240	8387	1058	14464	1182
2700	2000	14960	2193	6027	1058	8933	1135
2950	2250	13046	2020	4539	958	8507	1062
3200	2500	9197	1897	3638	885	5559	1012

Tabla 7.29 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: AWGN+AWG

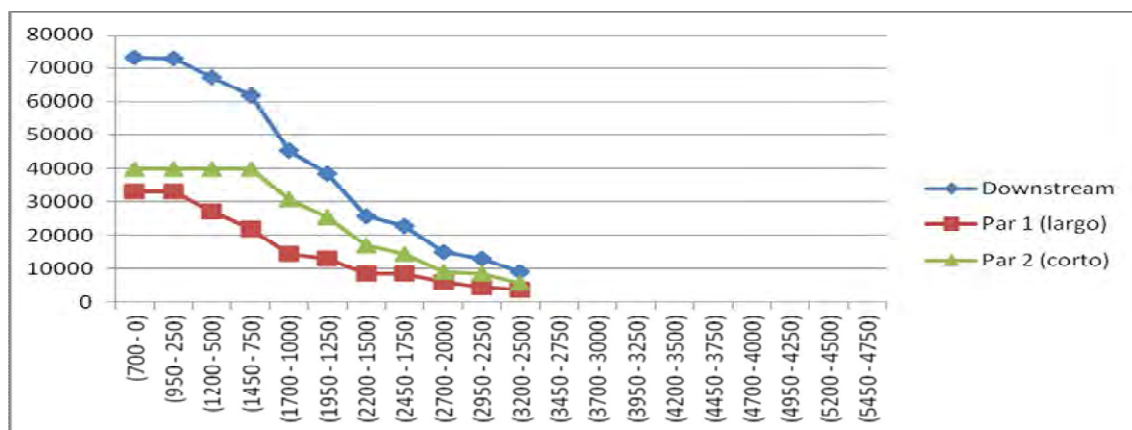


Fig. 7.73 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: AWGN+AWG

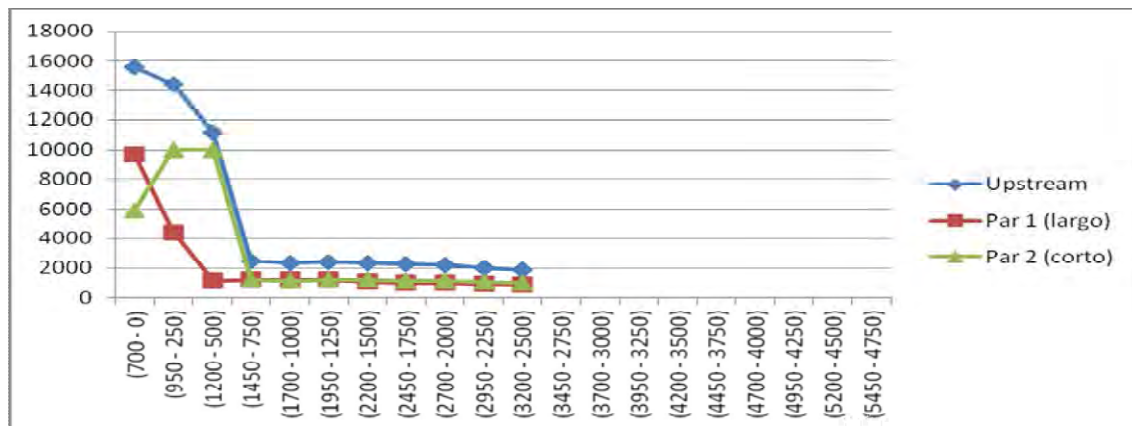


Fig. 7.74 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: AWGN+AWG

7.7.1.3.2. Modelo 3 + Modelo 3

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (KBPS)	UPSTREAM (KBPS)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
700	0	64906	14795	24890	9339	40016	5456
950	250	57148	14211	17132	4283	40016	9928
1200	500	49968	1968	9952	917	40016	1051
1450	750	34205	1871	5080	852	29125	1019
1700	1000	19295	1756	3232	779	16063	977
1950	1250	11123	1615	2115	706	9008	909
2200	1500	6398	1465	1430	618	4968	847
2450	1750	3835	1312	724	537	3111	775
2700	2000	2489	1192	336	478	2153	714

Tabla 7.30 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: M3+M3

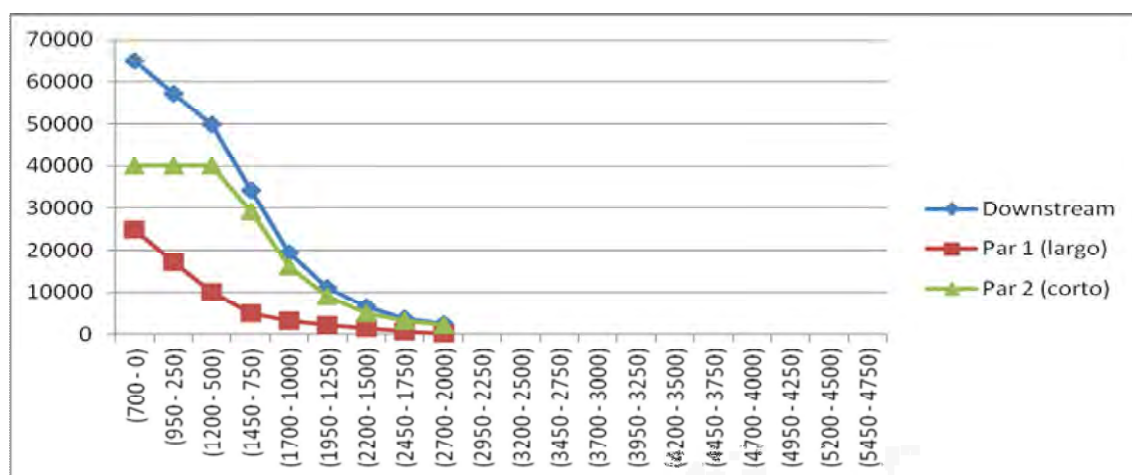


Fig. 7.75 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: M3+M3

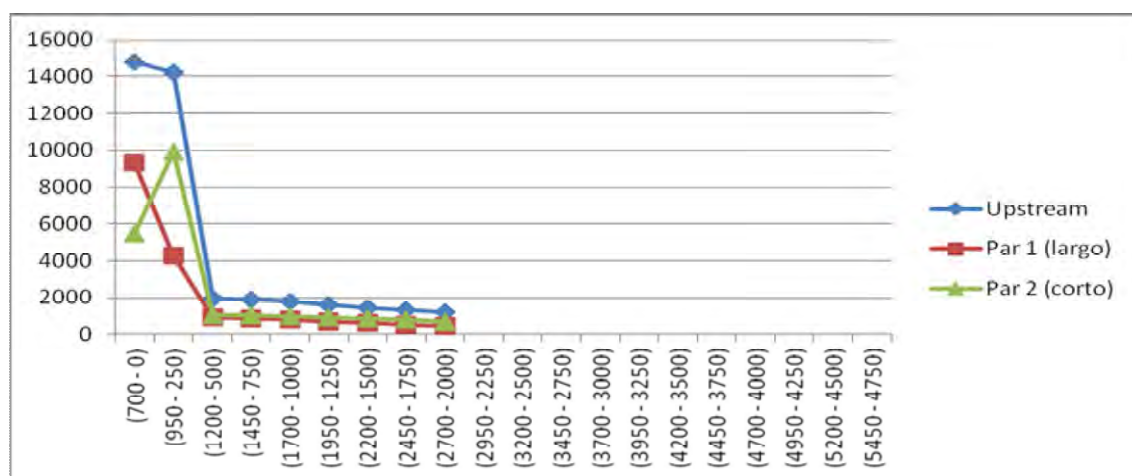


Fig. 7.76 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: M3+M3

7.7.1.3.3. AWGN + Modelo 3

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (KBPS)	UPSTREAM (KBPS)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
700	0	65913	15799	25897	9698	40016	6101
950	250	58970	14344	18954	4328	40016	10016
1200	500	50774	2116	10758	939	40016	1177
1450	750	45583	2076	5568	885	40015	1191
1700	1000	34489	1947	3556	805	30933	1142
1950	1250	27873	1951	2282	733	25591	1218
2200	1500	18733	1855	1578	650	17155	1205
2450	1750	15212	1732	870	563	14342	1169
2700	2000	9308	1641	401	506	8907	1135

Tabla 7.31 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: AWGN+M3

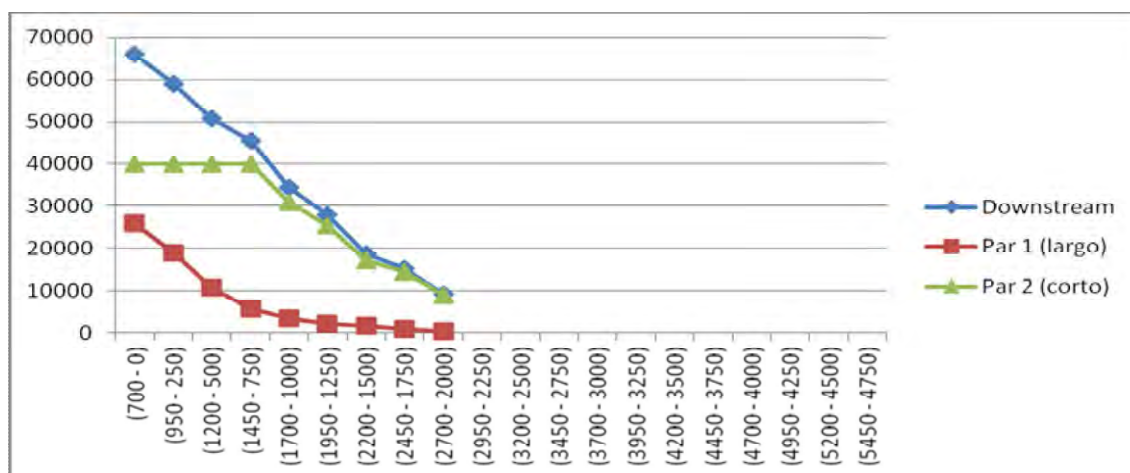


Fig. 7.77 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: AWGN+M3

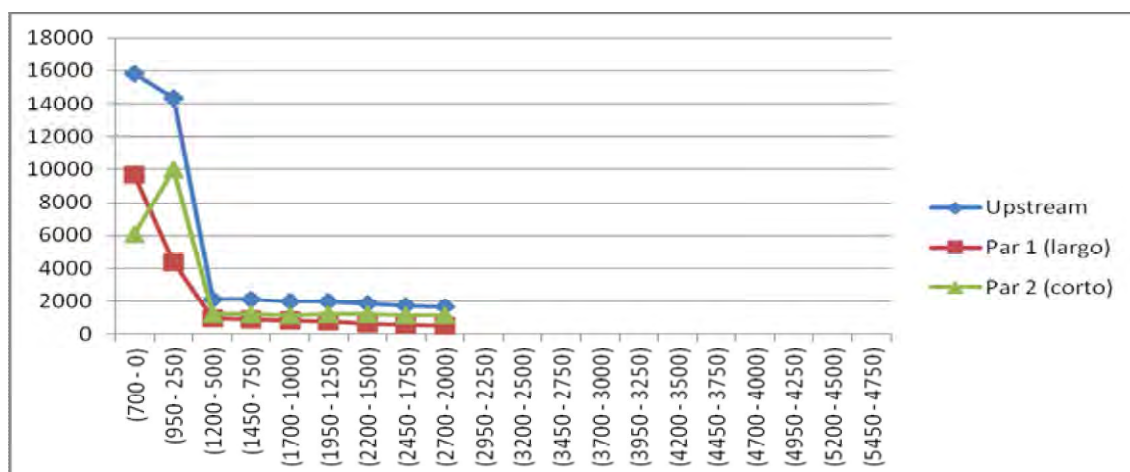


Fig. 7.78 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: AWGN+M3

7.7.1.3.4. Modelo 1 + Modelo 1

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (KBPS)	UPSTREAM (KBPS)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
700	0	79781	15513	39765	9755	40016	5758
950	250	65454	14328	25438	4315	40016	10013
1200	500	55270	1981	15254	938	40016	1043
1450	750	39898	1885	7957	881	31941	1004
1700	1000	23777	1520	3024	587	20753	933
1950	1250	14969	1614	2597	733	12372	881
2200	1500	7928	1466	1905	645	6023	821
2450	1750	4404	1311	1091	563	3313	748
2700	2000	2788	1189	531	506	2257	683

Tabla 7.32 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: M1+M1

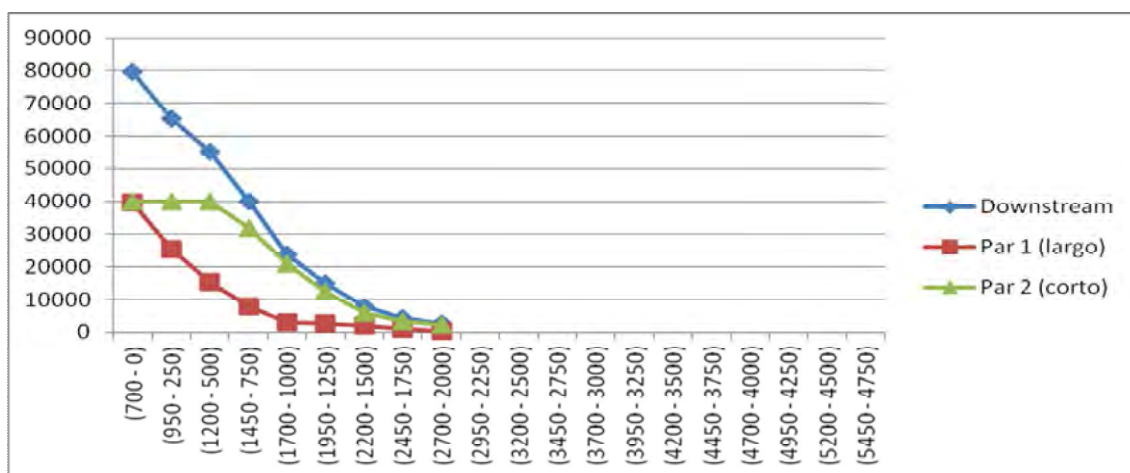


Fig. 7.79 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: M1+M1

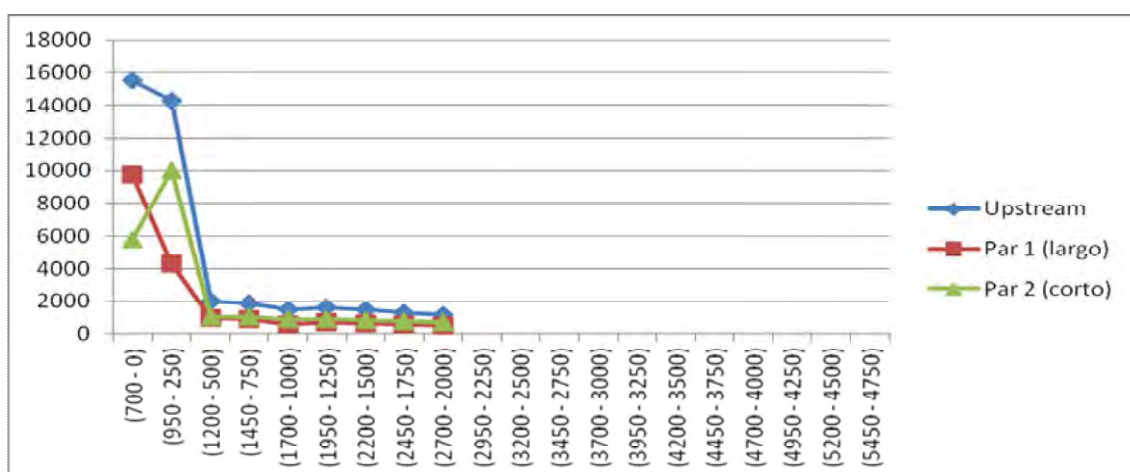


Fig. 7.80 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: M1+M1

7.7.1.3.5. Modelo 2 + Modelo 2

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM	UPSTREAM	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
700	0	68579	14937	28563	9758	40016	5179
950	250	61749	14317	21733	4362	40016	9955
1200	500	52744	2046	12728	977	40016	1069
1450	750	36556	1951	6338	920	30218	1031
1700	1000	21553	1825	4023	840	17530	985
1950	1250	12384	1684	2540	771	9844	913
2200	1500	4247	1385	1073	603	3201	782
2450	1750	2768	1265	537	544	2231	721

Tabla 7.33 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: M2+M2

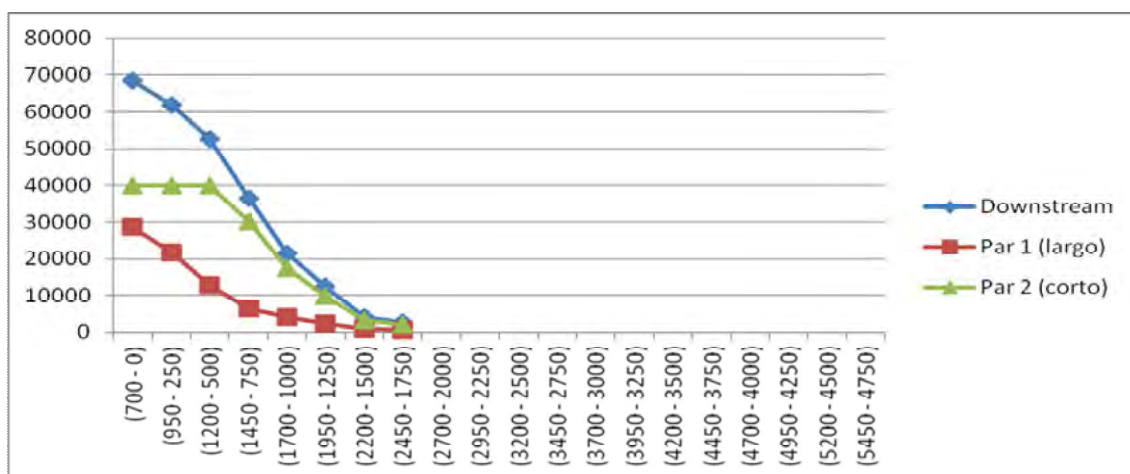


Fig. 7.81 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: M2+M2

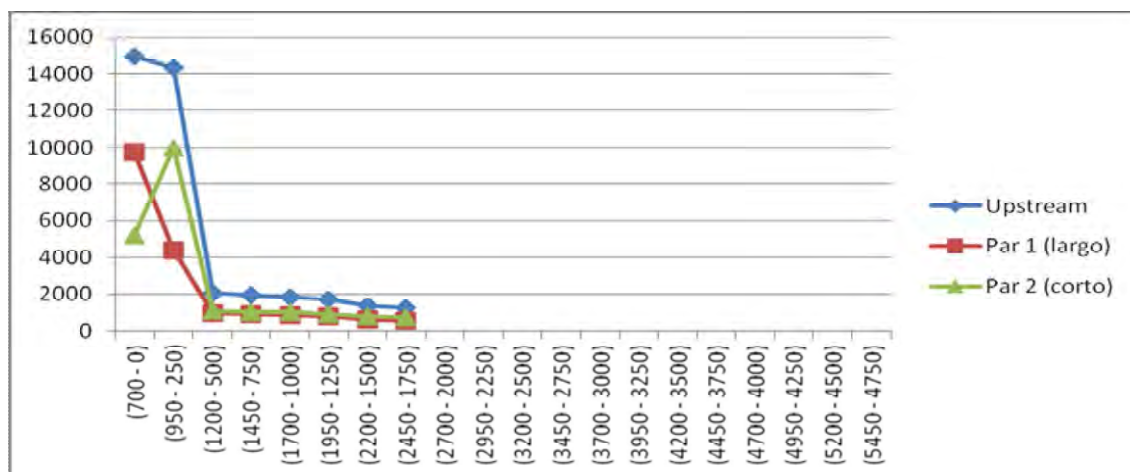


Fig. 7.82 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: M2+M2

7.7.1.3.6. Modelo 1 + Modelo 2

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
700	0	77737	15513	37721	9766	40016	5747
950	250	62506	14292	22490	4337	40016	9955
1200	500	52725	2015	12709	977	40016	1038
1450	750	38210	1932	6345	920	31865	1012
1700	1000	24707	1773	4012	844	20695	929
1950	1250	14964	1655	2581	771	12383	884
2200	1500	7928	1504	1865	683	6063	821
2450	1750	4398	1348	1081	603	3317	745
2700	2000	2790	1227	537	544	2253	683

Tabla 7.34 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: M1+M2

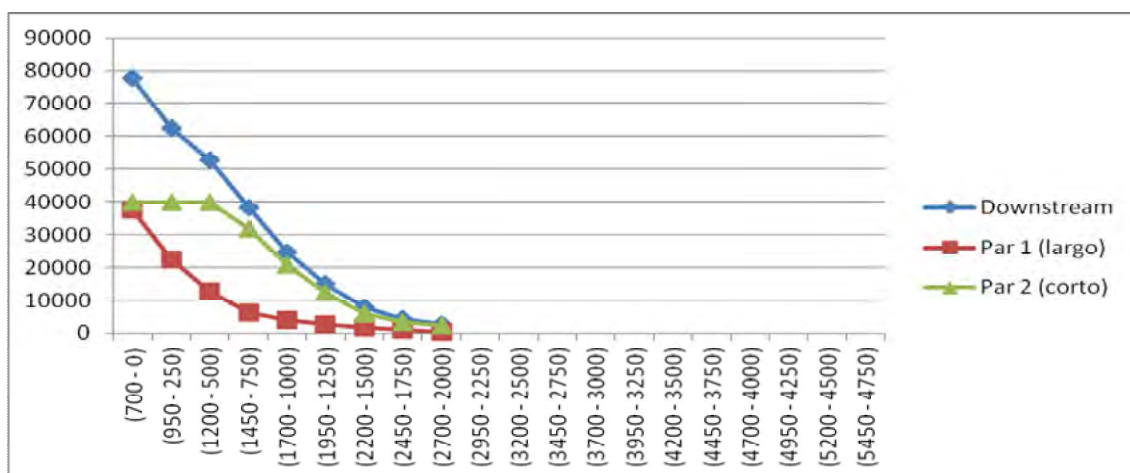


Fig. 7.83 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: M1+M2

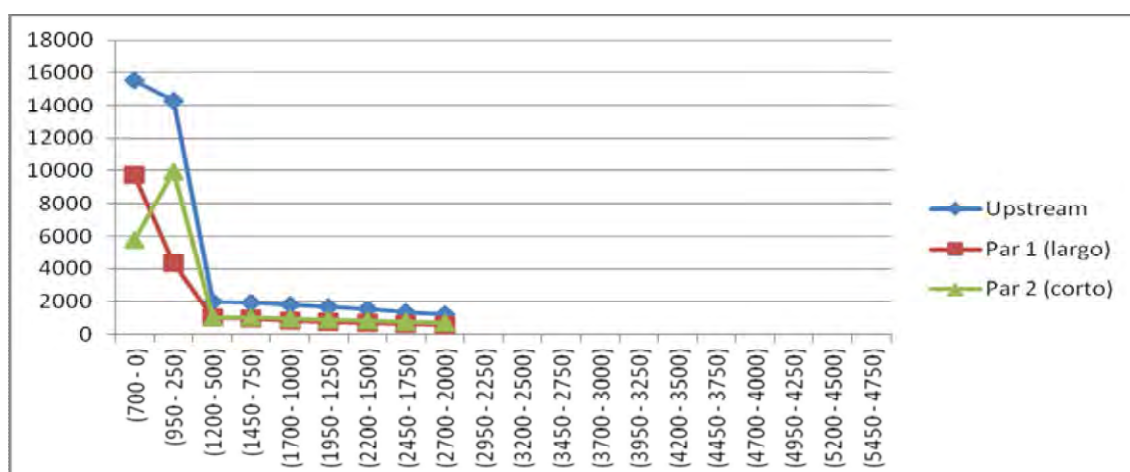


Fig. 7.84 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: M1+M2

7.7.1.3.7. Comparativa medidas downstream

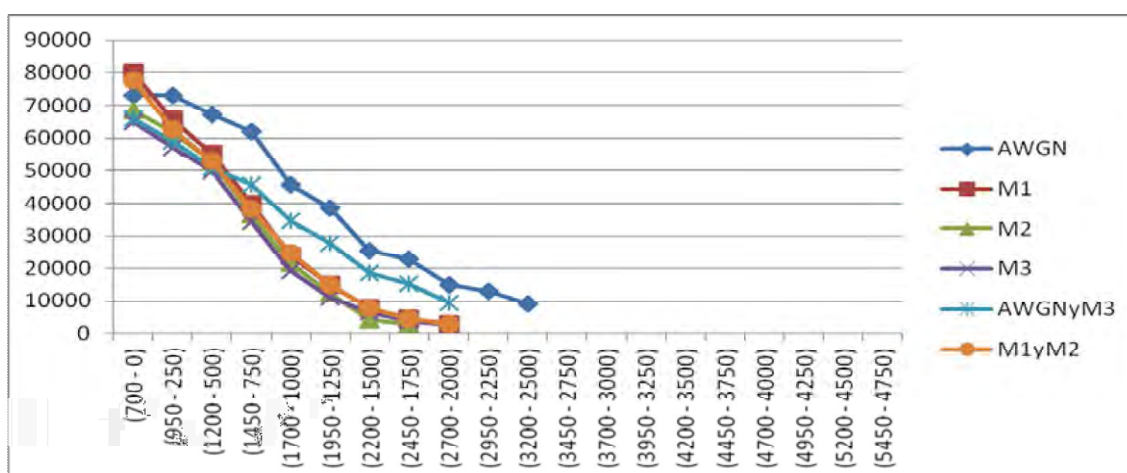


Fig. 7.85 Comparativa curvas Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 700m

Los comportamientos comentados anteriormente se ven acentuados cuando se aumenta la diferencia de distancia entre ambos bucles.

7.7.1.3.8. Comparativa medidas upstream

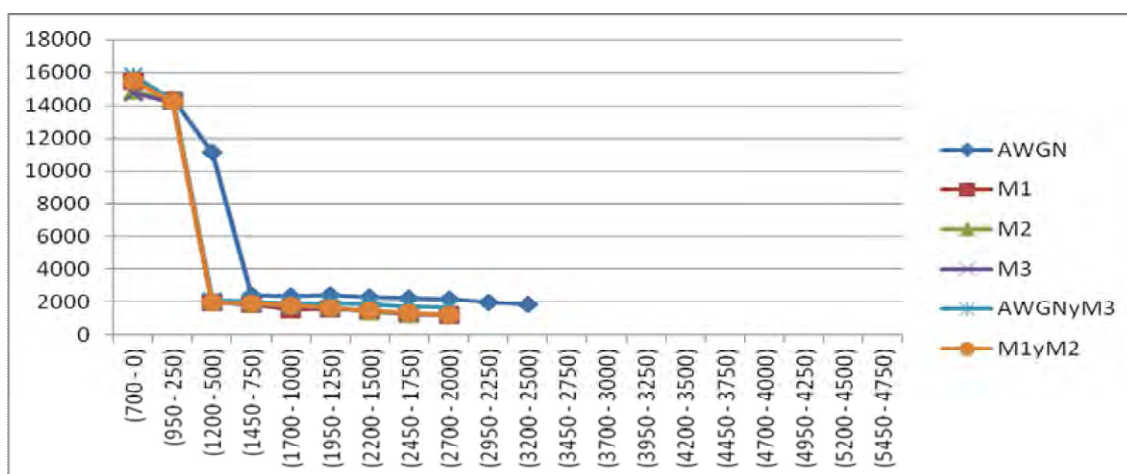


Fig. 7.86 Comparativa curvas Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: No limitado. Diferencia longitud entre pares: 700m

En las velocidades en sentido ascendente, como se produce una caída de la velocidad muy pronunciada a partir de los 750 metros, y la diferencia introducida es de 700 metros, en ningún caso se llega a los 20 Mbps obtenidos en los resultados de los escenarios donde los bucles del grupo tenían longitudes similares.

7.7.2. Perfil limitado a 30 Mbps/3,5 Mbps en cada uno de los canales

7.7.2.1. Pares de la misma longitud

7.7.2.1.1. AWGN + AWGN

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
0	0	61436	7166	30718	3583	30718	3583
250	250	61436	7166	30718	3583	30718	3583
500	500	61436	7166	30718	3583	30718	3583
750	750	61436	7166	30718	3583	30718	3583
1000	1000	61439	6915	30720	3583	30719	3332
1250	1250	53311	2455	26944	1256	26367	1199
1500	1500	40427	2448	20638	1252	19789	1196
1750	1750	33380	2405	16976	1236	16404	1169
2000	2000	23618	2339	12010	1196	11608	1143
2250	2250	20904	2160	10488	1098	10416	1062
2500	2500	16439	2054	8234	1038	8205	1016
2750	2750	13950	2001	6620	1031	7330	970
3000	3000	10632	1860	5235	924	5397	936

Tabla 7.35 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: AWGN+AWG

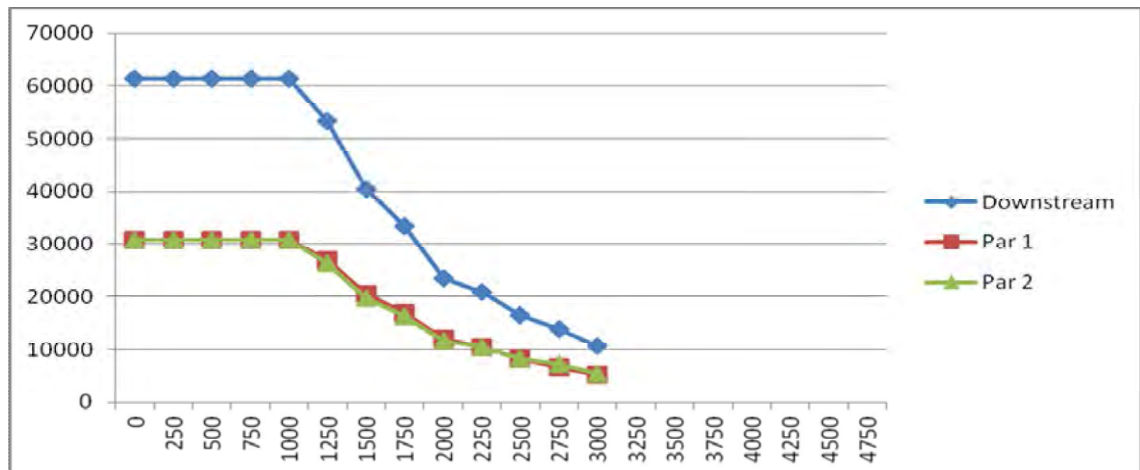


Fig. 7.87 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: AWGN+AWG

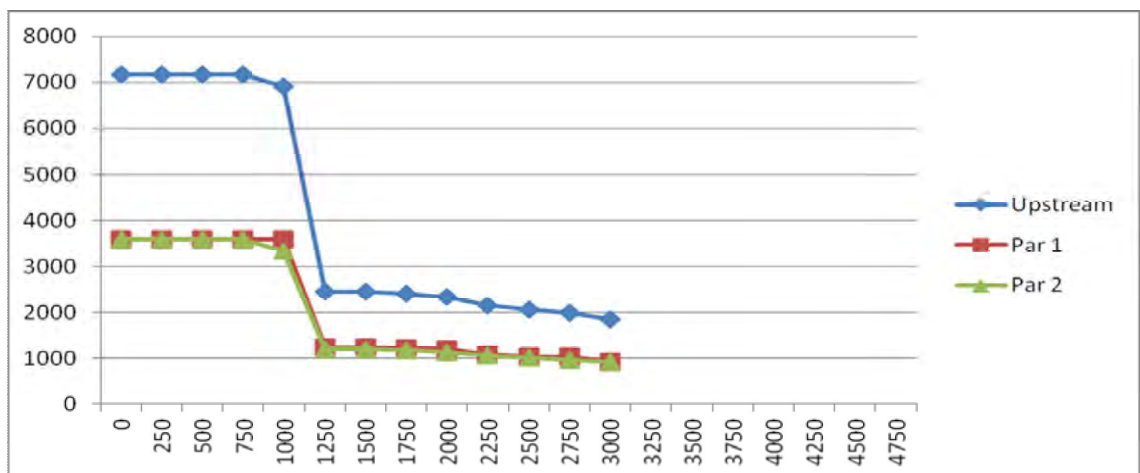


Fig. 7.88 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: AWGN+AWG

7.7.2.1.2. Modelo 3 + Modelo 3

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
0	0	61436	7166	30718	3583	30718	3583
250	250	61436	7166	30718	3583	30718	3583
500	500	61536	7166	30718	3583	30718	3583
750	750	58897	7166	30718	3583	28179	3583
1000	1000	31679	6792	16451	3460	15228	3332
1250	1250	17686	1802	9474	924	8212	878
1500	1500	9625	1691	5092	870	4533	821
1750	1750	5999	1531	3171	786	2828	745
2000	2000	4174	1404	2227	721	1947	683
2250	2250	2555	1199	1376	625	1179	574
2500	2500	1465	1042	819	549	646	493

Tabla 7.36 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: M3+M3

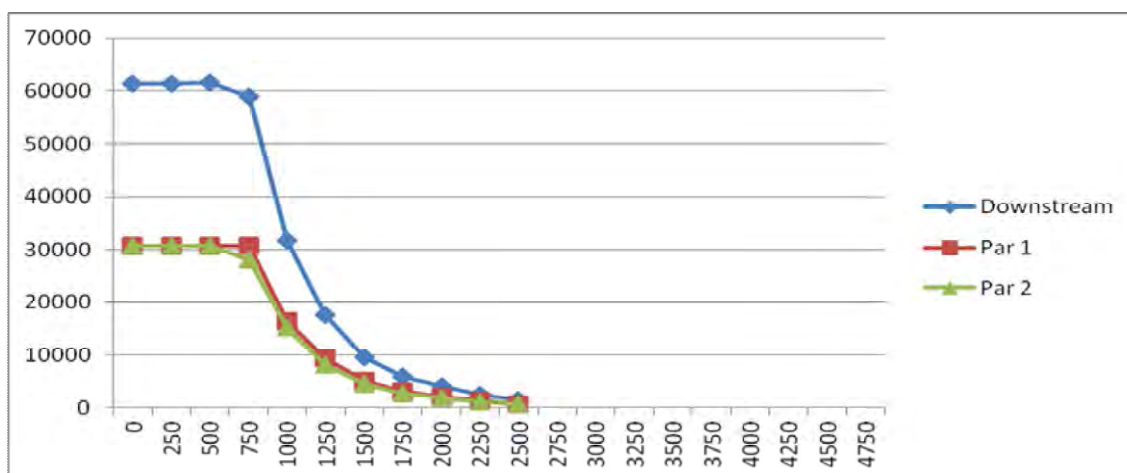


Fig. 7.89 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: M3+M3

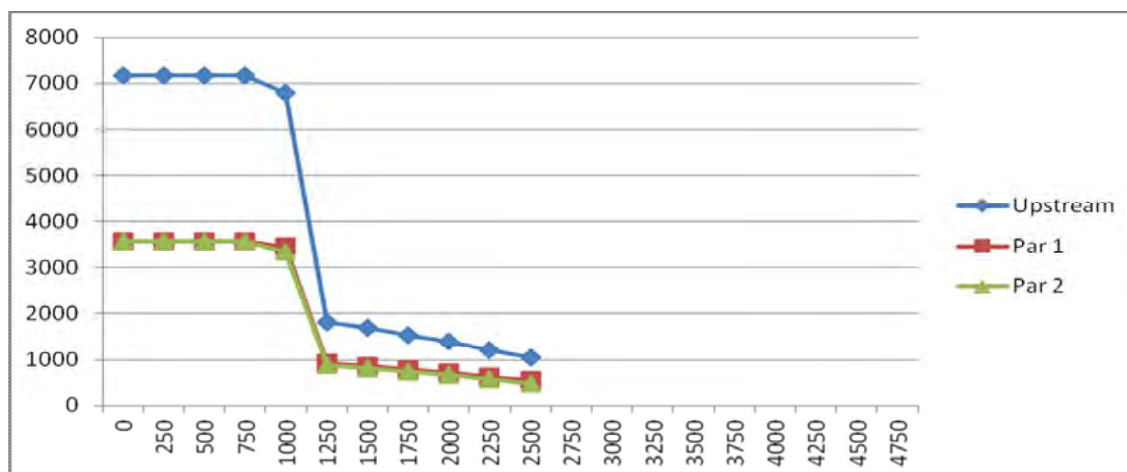


Fig. 7.90 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: M3+M3

7.7.2.1.3. AWGN + Modelo 3

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
0	0	61436	7166	30718	3583	30718	3583
250	250	61436	7166	30718	3583	30718	3583
500	500	61436	7166	30718	3583	30718	3583
750	750	61436	7166	30718	3583	30718	3583
1000	1000	47150	6329	16432	3497	30718	2832
1250	1250	34934	2131	9458	924	25476	1207
1500	1500	22239	2060	5073	867	17166	1193
1750	1750	17697	1925	3168	790	14529	1135
2000	2000	11257	1797	2253	714	9004	1083
2250	2250	9835	1679	1373	629	8462	1050
2500	2500	6487	1529	837	540	5650	989
2750	2750	7291	1413	336	474	6955	939

Tabla 7.37 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: AWGN+M3

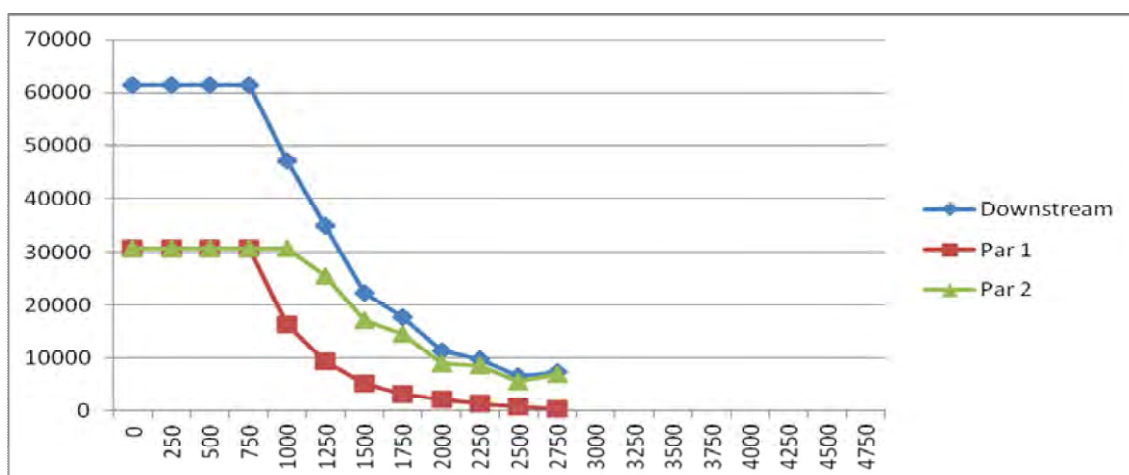


Fig. 7.91 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: AWGN+M3

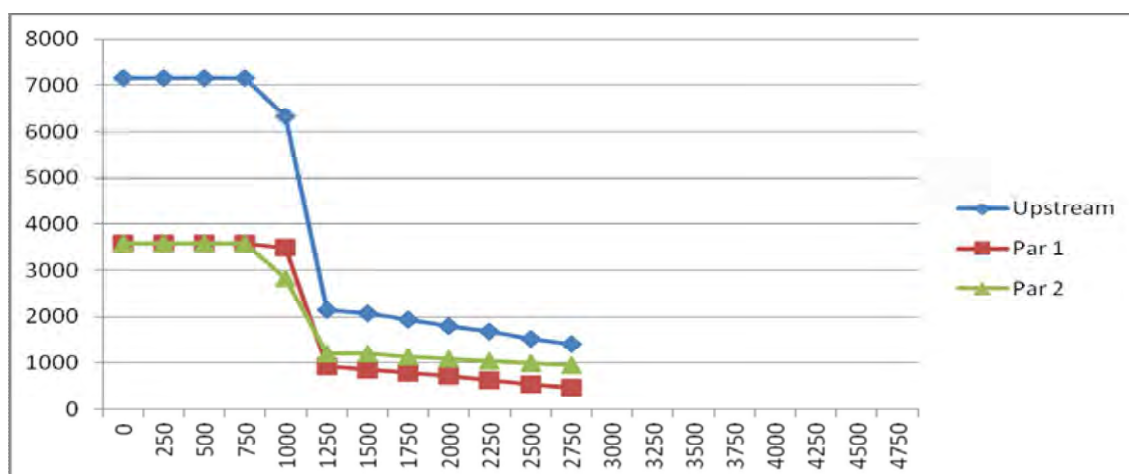


Fig. 7.92 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: AWGN+M3

7.7.2.1.4. Modelo 1 + Modelo 1

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
0	0	61436	7166	30718	3583	30718	3583
250	250	61436	7166	30718	3583	30718	3583
500	500	61436	7166	30718	3583	30718	3583
750	750	61438	7166	30718	3583	30720	3583
1000	1000	44077	5799	23191	3401	20886	2398
1250	1250	26086	1809	13807	931	12279	878
1500	1500	12742	1251	6791	870	5951	381
1750	1750	6758	1530	3489	790	3269	740
2000	2000	4135	891	1908	215	2227	676
2250	2250	3071	1199	1634	625	1437	574
2500	2500	1862	1047	1050	552	812	495

Tabla 7.38 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: M1+M1

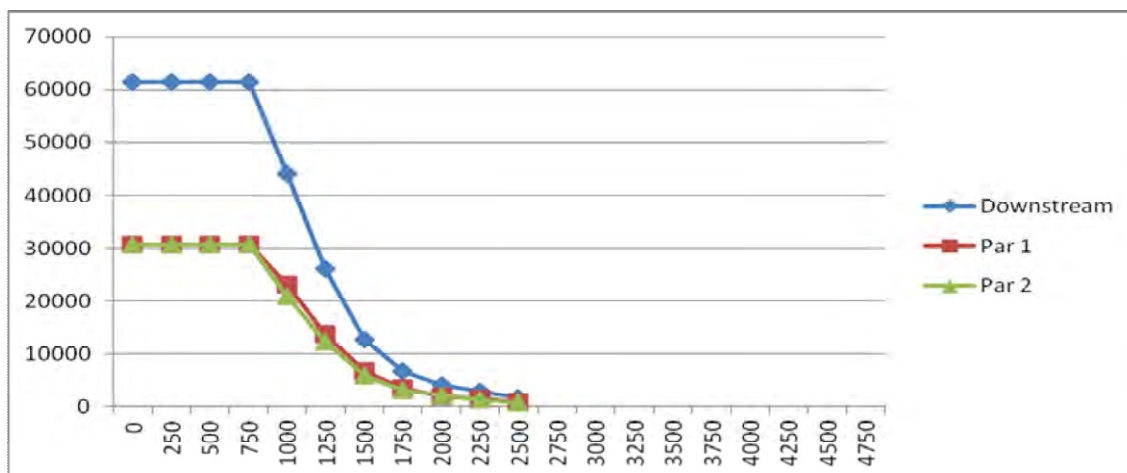


Fig. 7.93 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: M1+M1

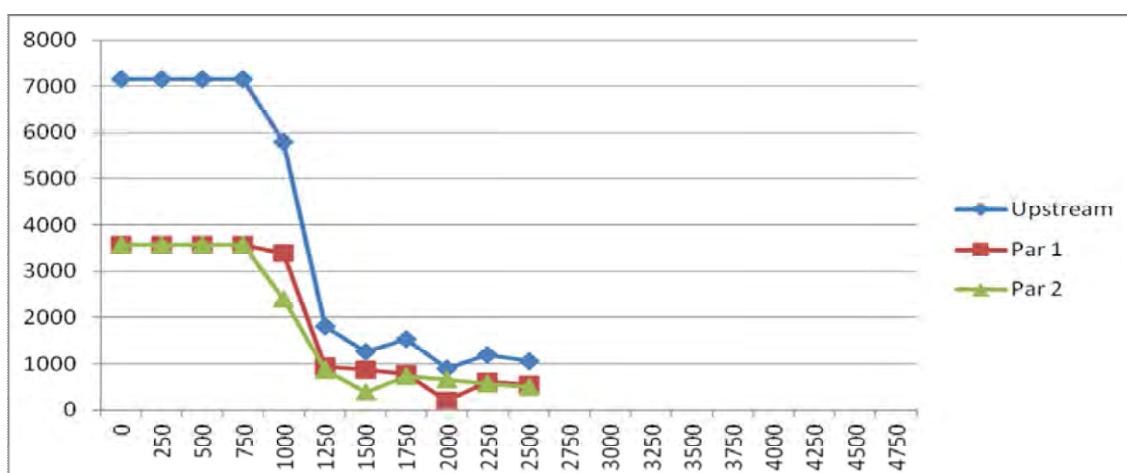


Fig. 7.94 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: M1+M1

7.7.2.1.5. Modelo 2 + Modelo 2

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
0	0	61436	7166	30718	3583	30718	3583
250	250	61436	7166	30718	3583	30718	3583
500	500	61436	7166	30718	3583	30718	3583
750	750	61932	7166	30719	3583	30673	3583
1000	1000	37691	6742	20035	3459	17656	3283
1250	1250	21060	1879	11183	962	9877	917
1500	1500	10698	1764	5606	909	5092	855
1750	1750	6567	1607	3359	825	3208	782
2000	2000	4704	1473	2473	752	2231	721
2250	2250	3046	1274	1625	664	1421	610
2500	2500	1842	1121	1033	591	809	530

Tabla 7.39 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: M2+M2

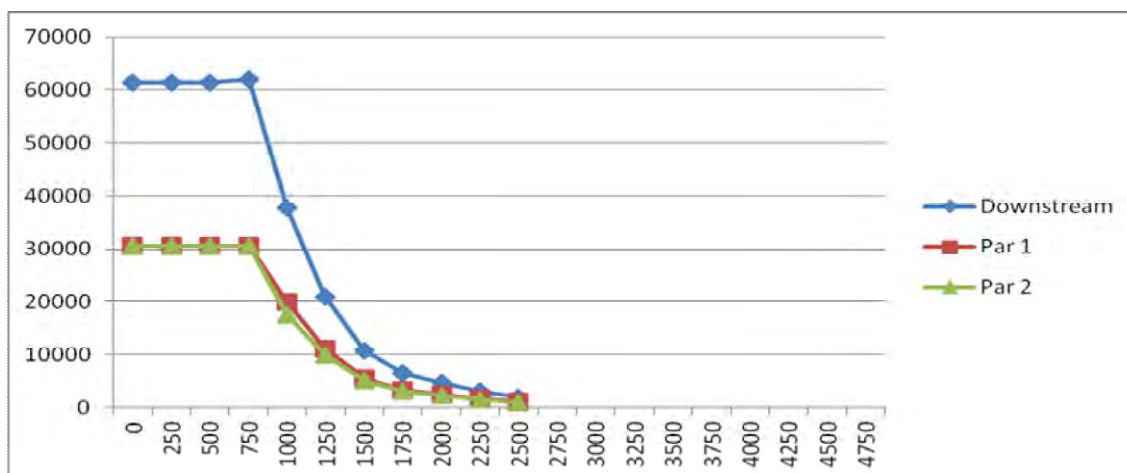


Fig. 7.95 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: M2+M2

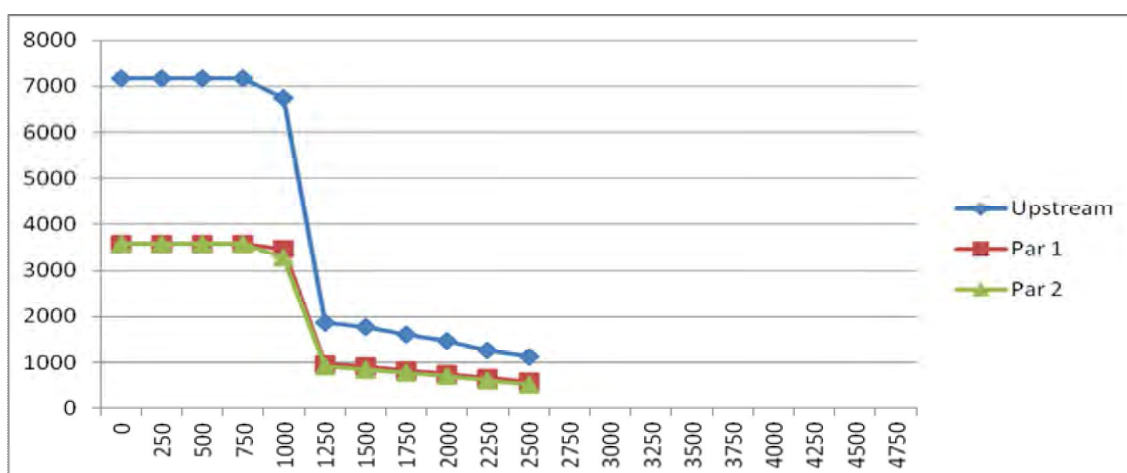


Fig. 7.96 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: M2+M2

7.7.2.1.6. Modelo 1 + Modelo 2

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
0	0	61436	7166	30718	3583	30718	3583
250	250	61436	7166	30718	3583	30718	3583
500	500	61436	7166	30718	3583	30718	3583
750	750	61440	7166	30720	3583	30720	3583
1000	1000	41197	6639	20062	3490	21135	3149
1250	1250	23603	1842	11194	962	12409	880
1500	1500	11785	1730	5655	905	6130	825
1750	1750	6884	1577	3578	829	3306	748
2000	2000	4686	1439	2466	756	2220	683
2250	2250	3070	1240	1625	664	1445	576
2500	2500	1843	1086	1040	591	803	495
2750	2750	826	951	456	514	370	437

Tabla 7.40 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: M1+M2

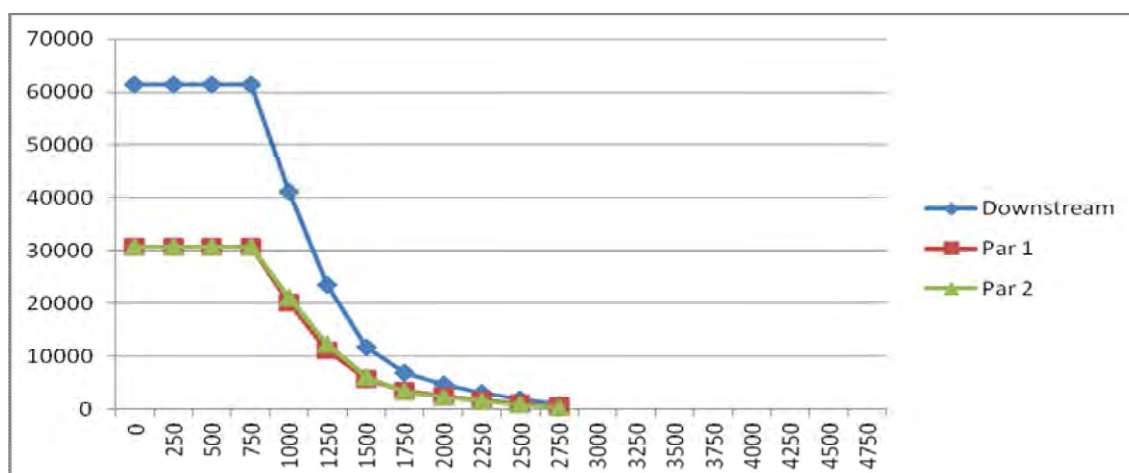


Fig. 7.97 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: M1+M2

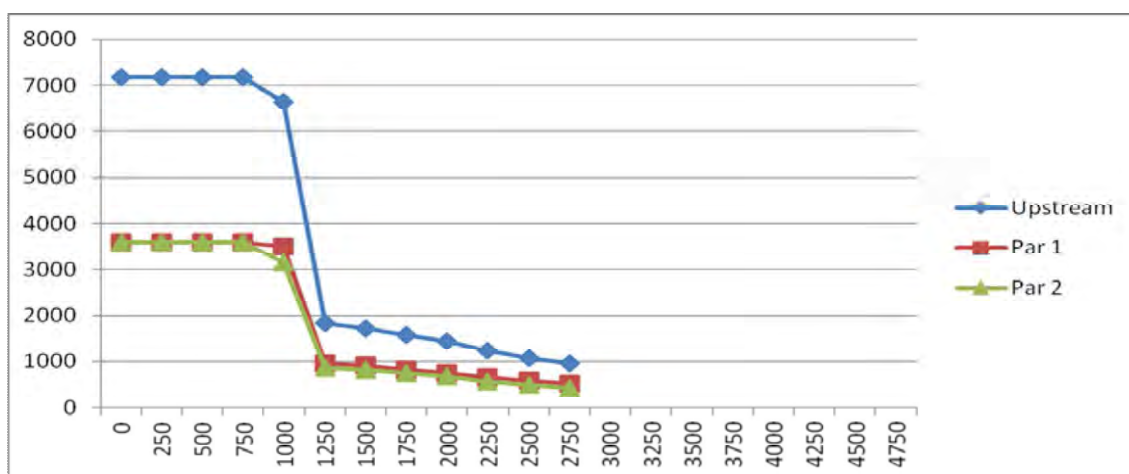


Fig. 7.98 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: M1+M2

7.7.2.1.7. Comparativa medidas downstream

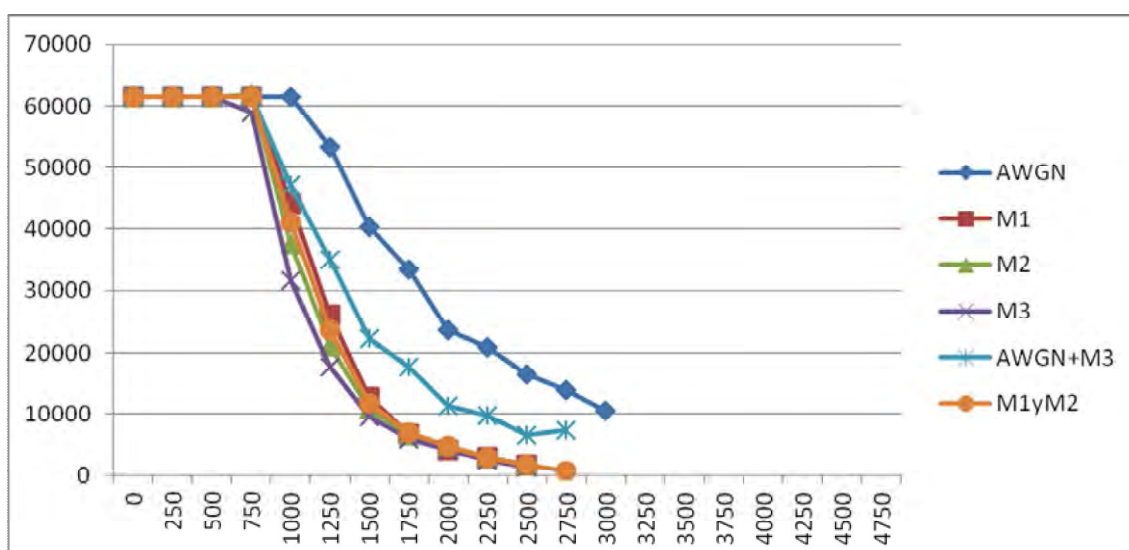


Fig. 7.99 Comparativa curvas Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 0m

Limitando los perfiles de las líneas que componen el grupo se puede asegurar la máxima velocidad ofrecida en bucles cortos, y no solo muy cortos como sucedía en los perfiles sin limitar.

7.7.2.1.8. Comparativa medidas upstream

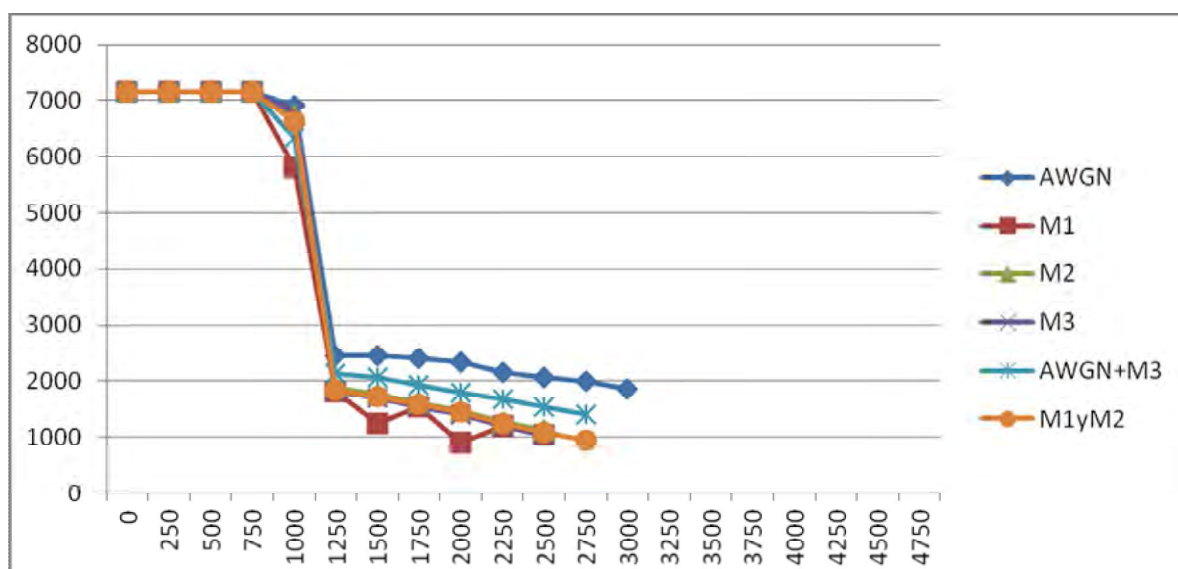


Fig. 7.100 Comparativa curvas Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 0m

Lo mismo ocurre con las velocidades alcanzadas en el sentido ascendente, limitando la velocidad alcanzable, se puede asegurar la velocidad máxima en bucles cortos.

7.7.2.2. Pares con una diferencia de 400m de longitud

7.7.2.2.1. AWGN + AWGN

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
400	0	61436	7166	30718	3583	30718	3583
650	250	61436	7166	30718	3583	30718	3583
900	500	61436	7166	30718	3583	30718	3583
1150	750	61115	5264	30397	1681	30718	3583
1400	1000	53679	2414	22961	1271	30718	1143
1650	1250	44873	2429	18588	1234	26285	1195
1900	1500	33509	2388	13767	1192	19742	1196
2150	1750	27947	2328	11543	1155	16404	1173
2400	2000	20594	2205	8834	1062	11760	1143
2650	2250	17697	2123	7326	1065	10371	1058

Tabla 7.41 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: AWGN+AWG

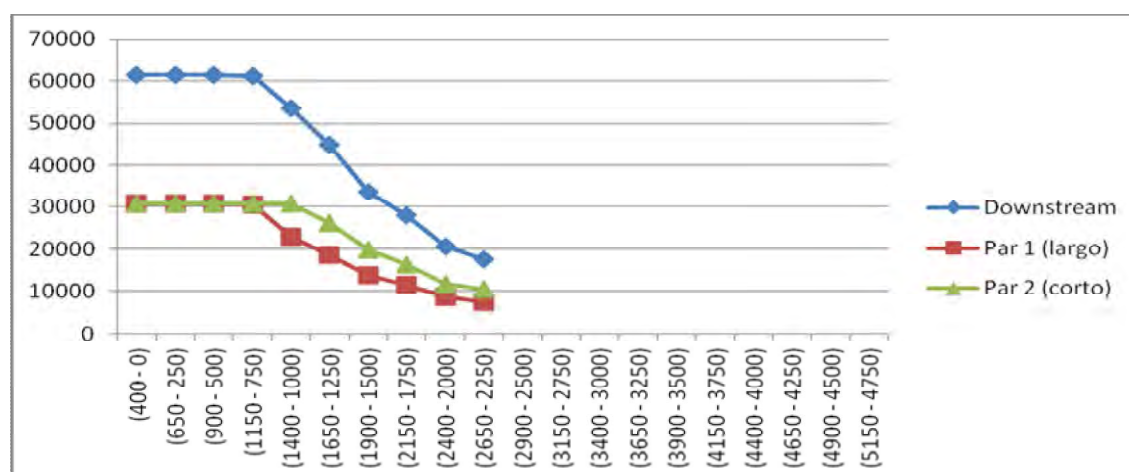


Fig. 7.101 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: AWGN+AWG

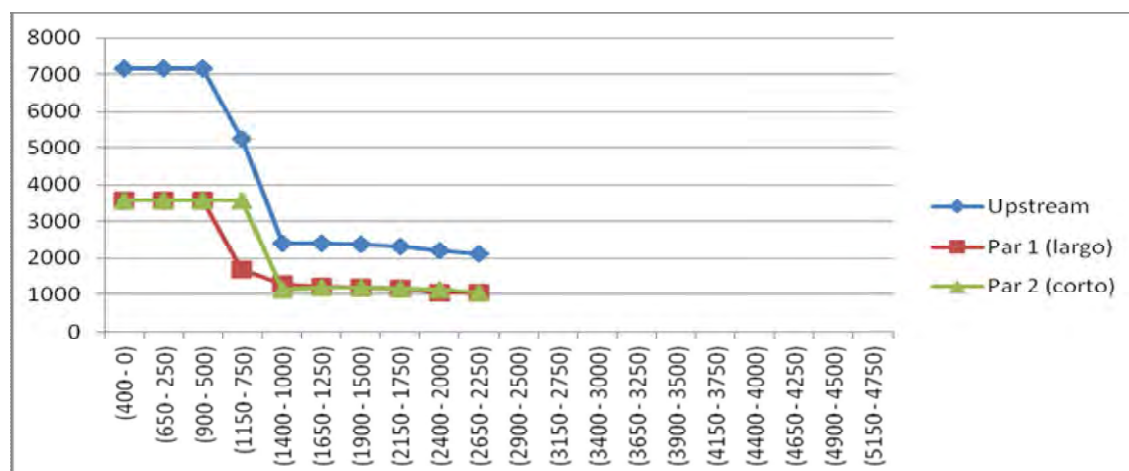


Fig. 7.102 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: AWGN+AWG

7.7.2.2.2. Modelo 3 + Modelo 3

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
400	0	61436	7166	30718	3583	30718	3583
650	250	61436	7166	30718	3583	30718	3583
900	500	52586	7166	21868	3583	30718	3583
1150	750	40075	4956	11896	1373	28179	3583
1400	1000	21467	1855	6364	905	15103	950
1650	1250	11941	1706	3732	821	8209	885
1900	1500	7151	1566	2612	745	4539	821
2150	1750	4500	1409	1668	661	2832	748
2400	2000	2983	1263	1029	580	1954	683
2650	2250	1666	1097	473	521	1193	576

Tabla 7.42 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: M3+M3

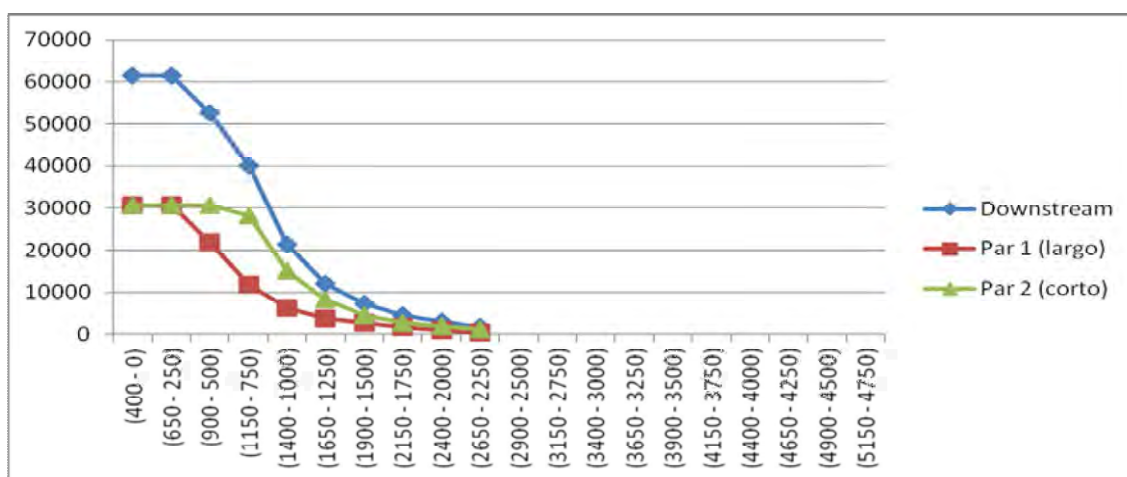


Fig. 7.103 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: M3+M3

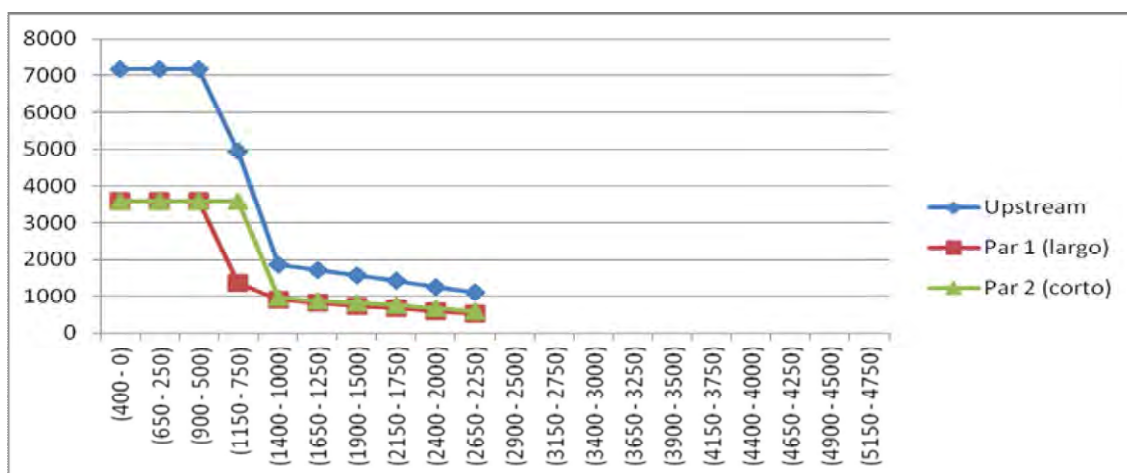


Fig. 7.104 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: M3+M3

7.7.2.2.3. AWGN + Modelo 3

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
400	0	61436	7166	30718	3583	30718	3583
650	250	61436	7166	30718	3583	30718	3583
900	500	52798	7166	22080	3583	30718	3583
1150	750	42607	4949	11889	1366	30718	3583
1400	1000	37064	2047	6345	905	30719	1142
1650	1250	29237	2028	3728	821	25509	1207
1900	1500	19900	1945	2581	748	17319	1197
2150	1750	16120	1823	1668	661	14452	1162
2400	2000	9953	1686	1020	584	8933	1102
2650	2250	8962	1580	470	530	8492	1050

Tabla 7.43 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: AWGN+M3

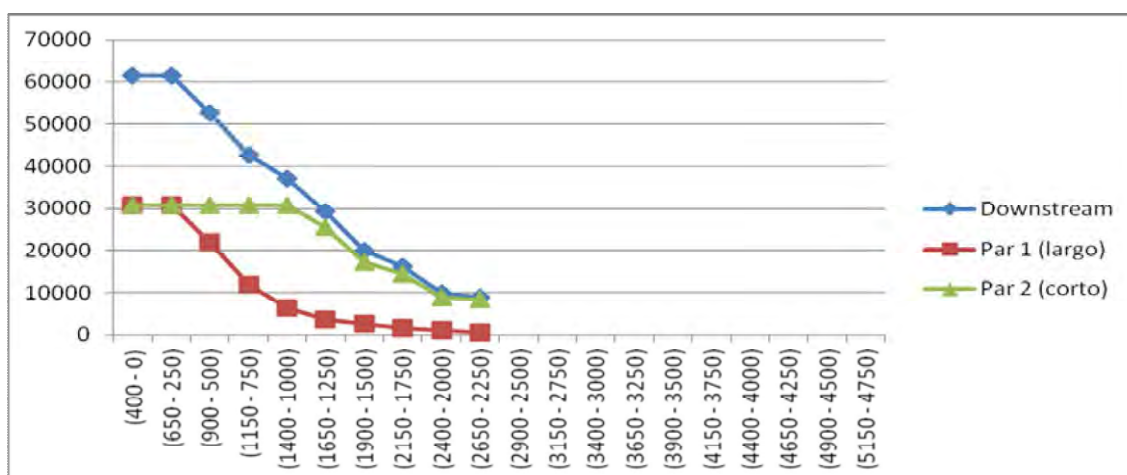


Fig. 7.105 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: AWGN+M3

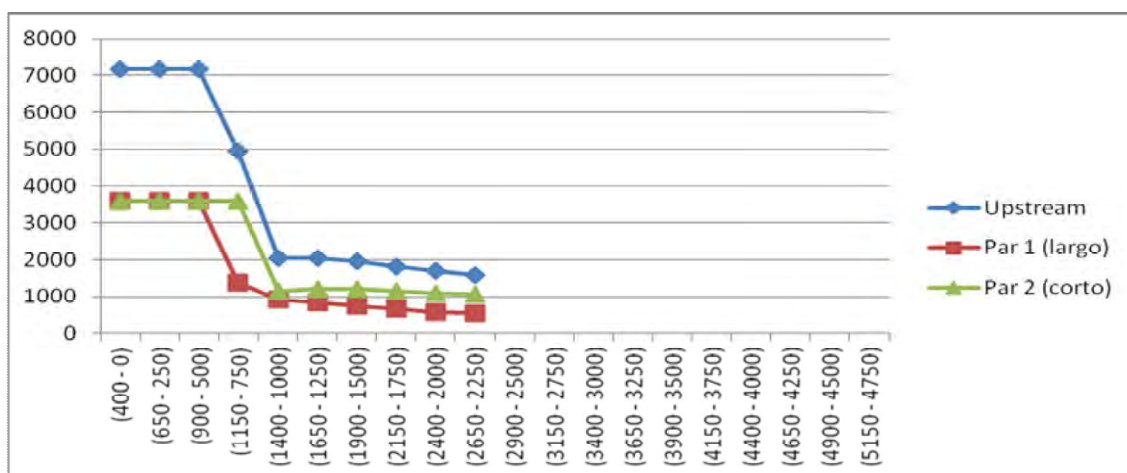


Fig. 7.106 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: AWGN+M3

7.7.2.2.4. Modelo 1 + Modelo 1

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
400	0	61436	7166	30718	3583	30718	3583
650	250	61436	7166	30718	3583	30718	3583
900	500	58718	7166	28000	3583	30718	3583
1150	750	47955	4941	17235	1358	30720	3583
1400	1000	29927	1838	9235	909	20692	929
1650	1250	16631	1699	4183	818	12448	881
1900	1500	8707	1569	2625	748	6082	821
2150	1750	5275	1409	1947	661	3328	748
2400	2000	3483	1274	1245	587	2238	687
2650	2250	2075	1095	623	521	1452	574

Tabla 7.44 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: M1+M1

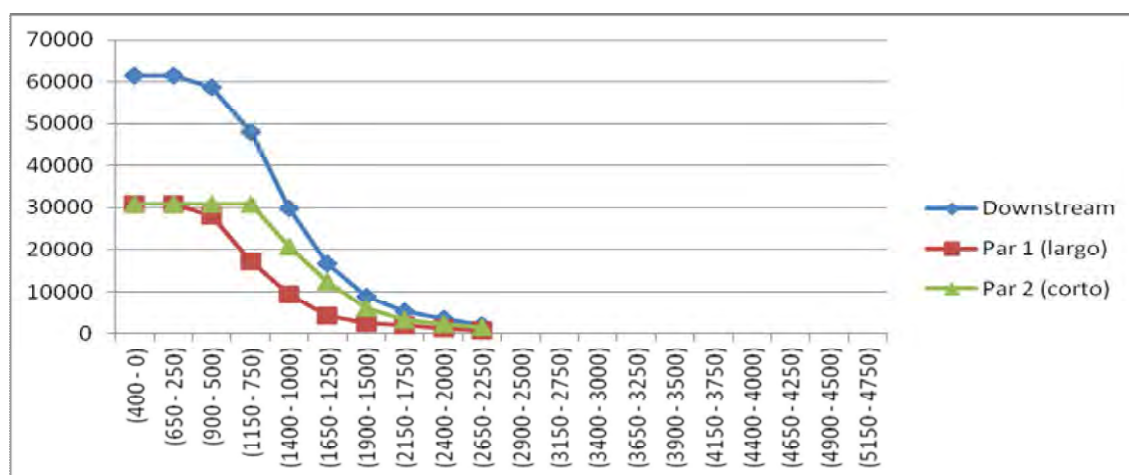


Fig. 7.107 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: M1+M1

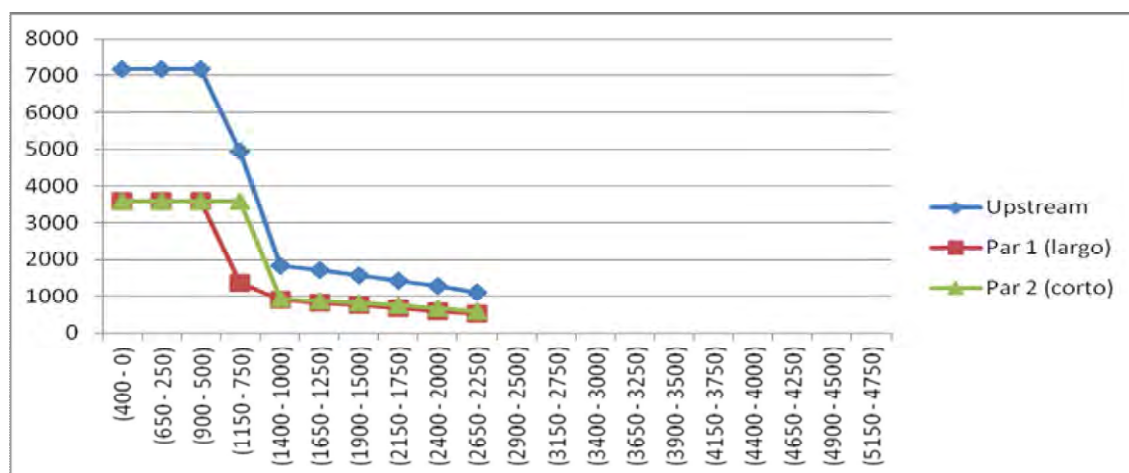


Fig. 7.108 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: M1+M1

7.7.2.2.5. Modelo 2 + Modelo 2

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
400	0	61436	7166	30718	3583	30718	3583
650	250	61436	7166	30718	3583	30718	3583
900	500	55830	7166	25112	3583	30718	3583
1150	750	44826	4950	14106	1367	30720	3583
1400	1000	24922	1928	7365	943	17557	985
1650	1250	14046	1776	4202	859	9844	917
1900	1500	7929	1634	2832	779	5097	855
2150	1750	5148	1481	1925	695	3223	786
2400	2000	3471	1343	1225	622	2246	721
2650	2250	2068	1177	634	563	1434	614
2900	2500	1102	999	278	466	824	533

Tabla 7.45 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: M2+M2

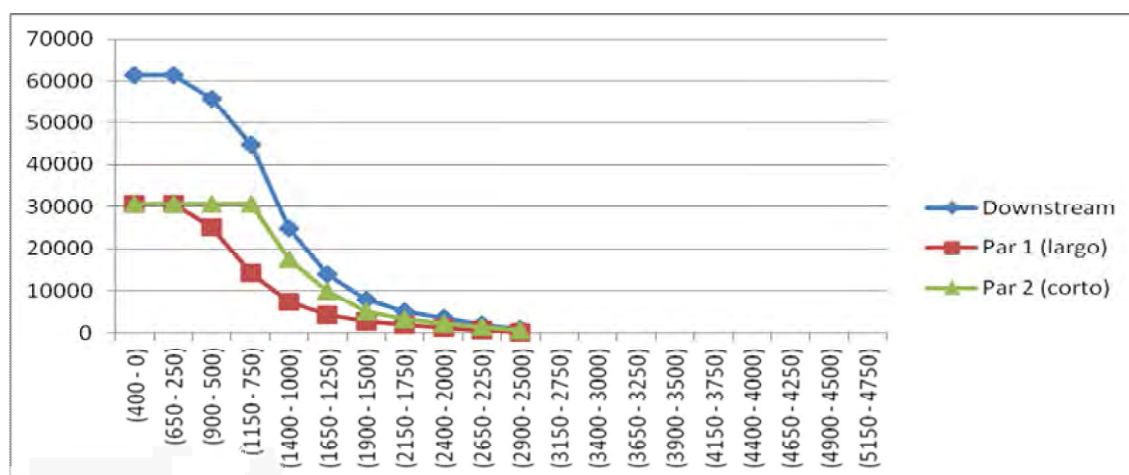


Fig. 7.109 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: M2+M2

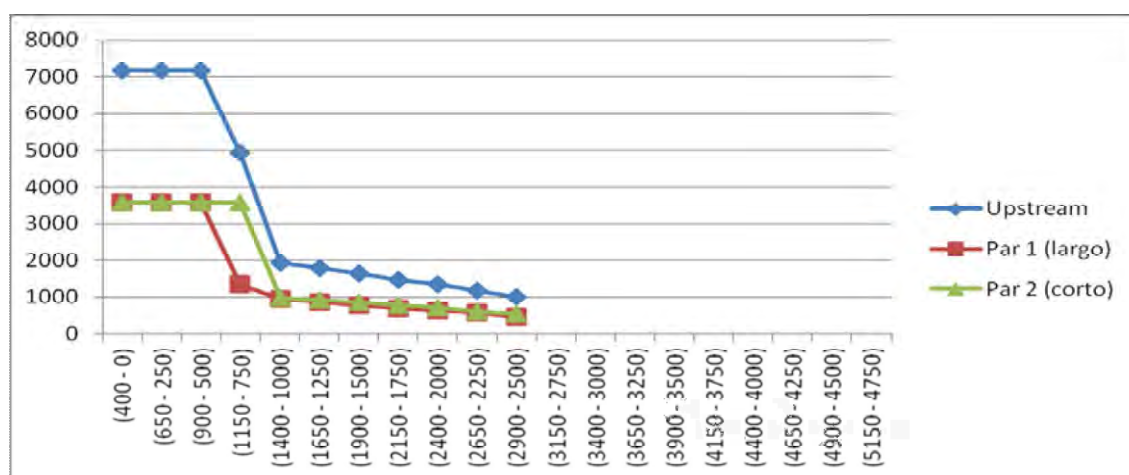


Fig. 7.110 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: M2+M2

7.7.2.2.6. Modelo 1 + Modelo 2

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
400	0	61436	7166	30718	3583	30718	3583
650	250	61436	7166	30718	3583	30718	3583
900	500	55761	7166	25043	3583	30718	3583
1150	750	44884	4983	14165	1400	30719	3583
1400	1000	28064	1872	7376	943	20688	929
1650	1250	16369	1739	4001	855	12368	884
1900	1500	8869	1603	2821	782	6048	821
2150	1750	5223	1444	1932	699	3291	745
2400	2000	3454	1302	1219	622	2235	680
2650	2250	2086	1137	634	563	1452	574

Tabla 7.46 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: M1+M2

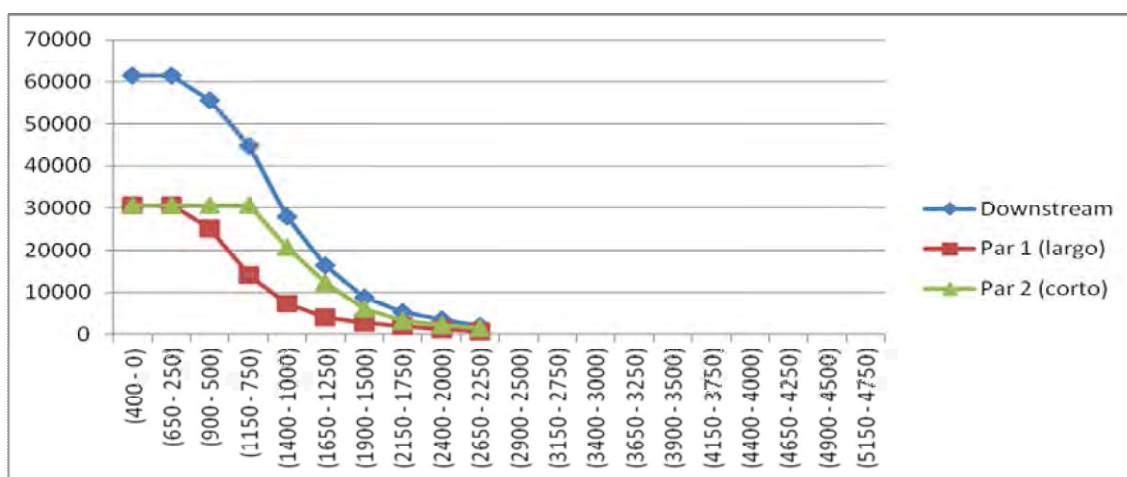


Fig. 7.111 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: M1+M2

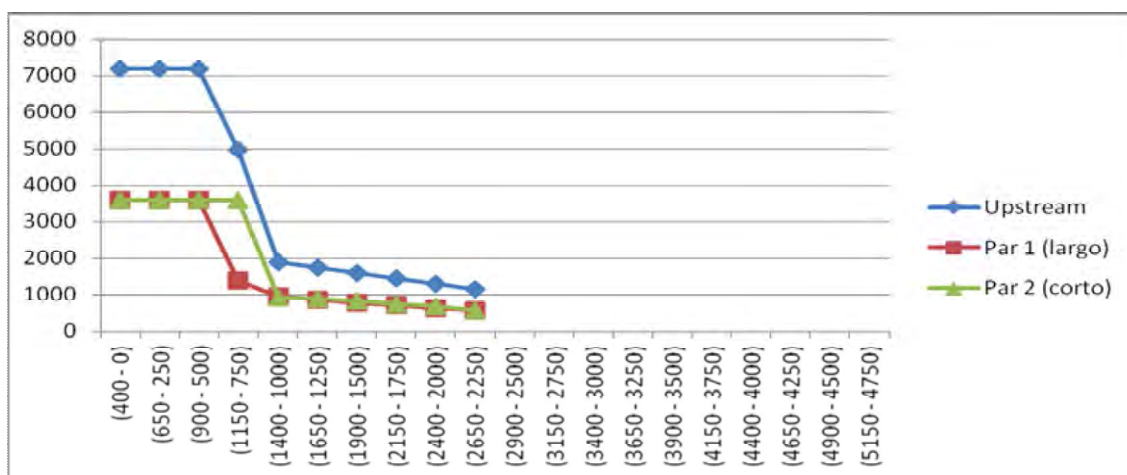


Fig. 7.112 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: M1+M2

7.7.2.2.7. Comparativa medidas downstream

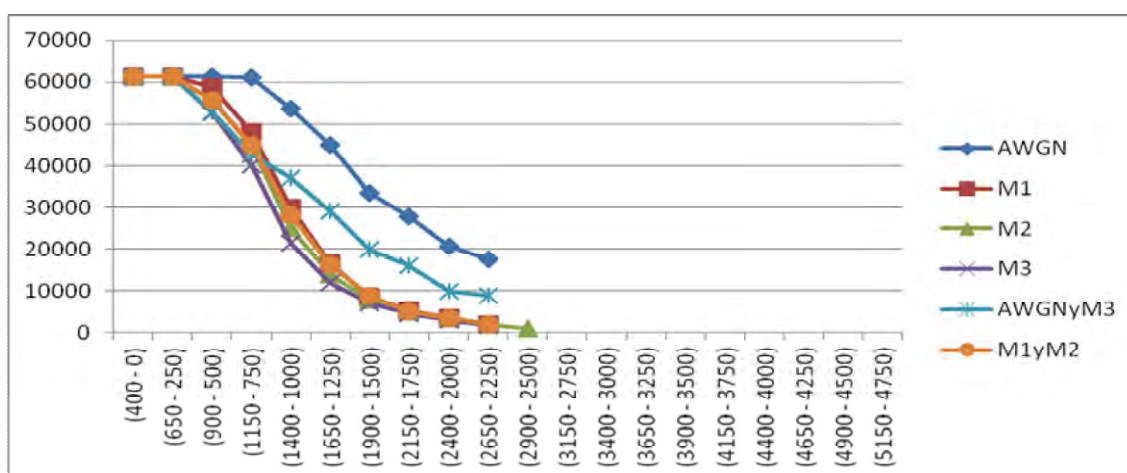


Fig. 7.113 Comparativa curvas Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 400m

Cuando existe una diferencia de longitud entre los bucles, entonces hay que tener en cuenta la distancia más larga a la hora de calcular la velocidad máxima que el grupo puede alcanzar.

7.7.2.2.8. Comparativa medidas upstream

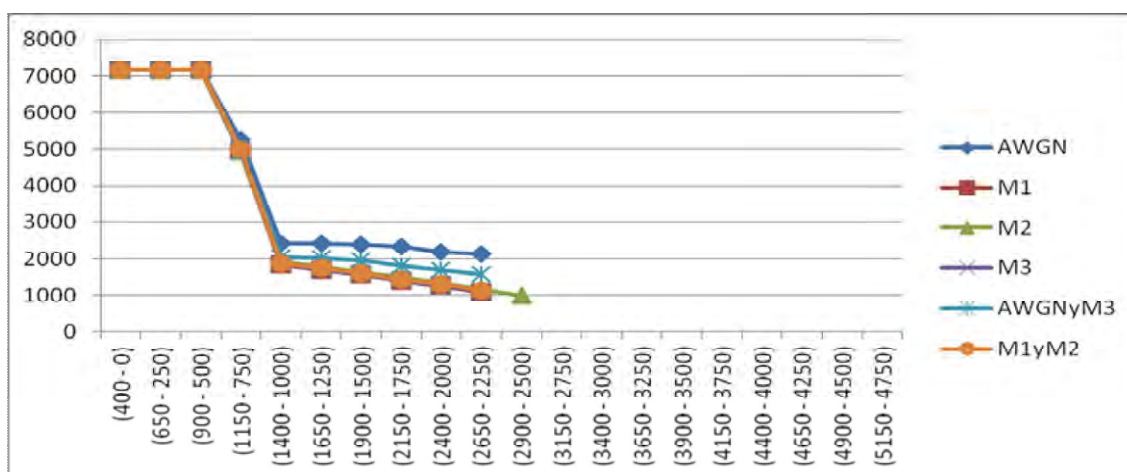


Fig. 7.114 Comparativa curvas Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 400m

En el sentido ascendente, para el perfil limitado a 3,5 Mbps, y siempre dependiendo de la distancia del bucle más largo, las velocidades de sincronismo serían la máxima para distancias cortas y de alrededor de los 2 Mbps para distancias medias. Los bucles no sincronizan en VDSL2 a distancias largas.

7.7.2.3. Pares con una diferencia de 700m de longitud

7.7.2.3.1. AWGN + AWGN

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
700	0	61436	7166	30718	3583	30718	3583
950	250	61438	7164	30720	3581	30718	3583
1200	500	58815	4791	28097	1208	30718	3583
1450	750	52313	2433	21595	1245	30718	1188
1700	1000	46127	2370	15410	1221	30717	1149
1950	1250	39481	2388	12619	1177	26862	1211
2200	1500	30320	2320	9836	1120	20484	1200
2450	1750	25603	2216	8353	1027	17250	1189
2700	2000	18940	2158	6717	1012	12223	1146
2950	2250	16174	1981	5235	917	10939	1064

Tabla 7.47 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: AWGN+AWG

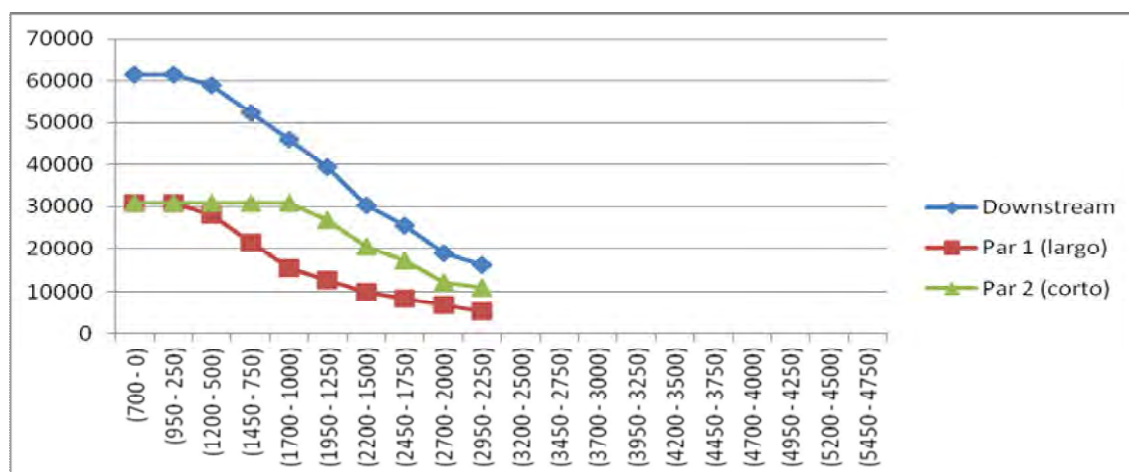


Fig. 7.115 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: AWGN+AWG

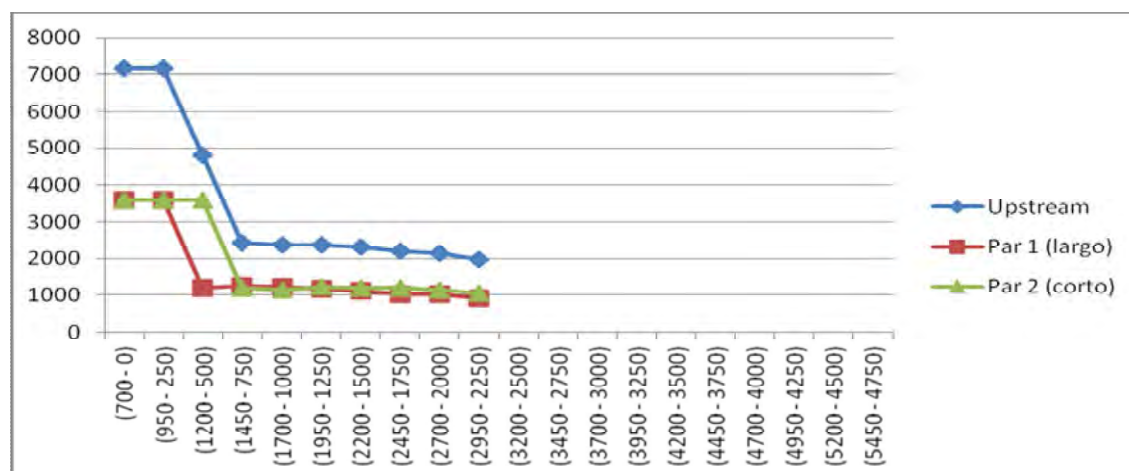


Fig. 7.116 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: AWGN+AWG

7.7.2.3.2. Modelo 3 + Modelo 3

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
700	0	56634	7166	25916	3583	30718	3583
950	250	50297	7166	19579	3583	30718	3583
1200	500	41499	1974	10781	939	30718	1035
1450	750	33322	1889	5583	881	27739	1008
1700	1000	18701	1755	3559	805	15142	950
1950	1250	10497	1614	2289	733	8208	881
2200	1500	6093	1466	1578	645	4515	821
2450	1750	3699	1308	878	563	2821	745
2700	2000	2358	1193	393	510	1965	683

Tabla 7.48 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: M3+M3

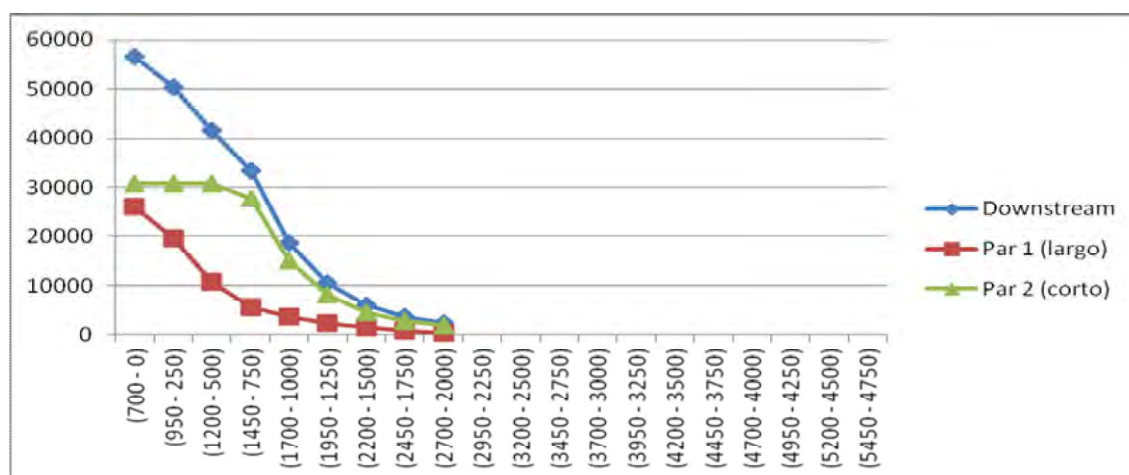


Fig. 7.117 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: M3+M3

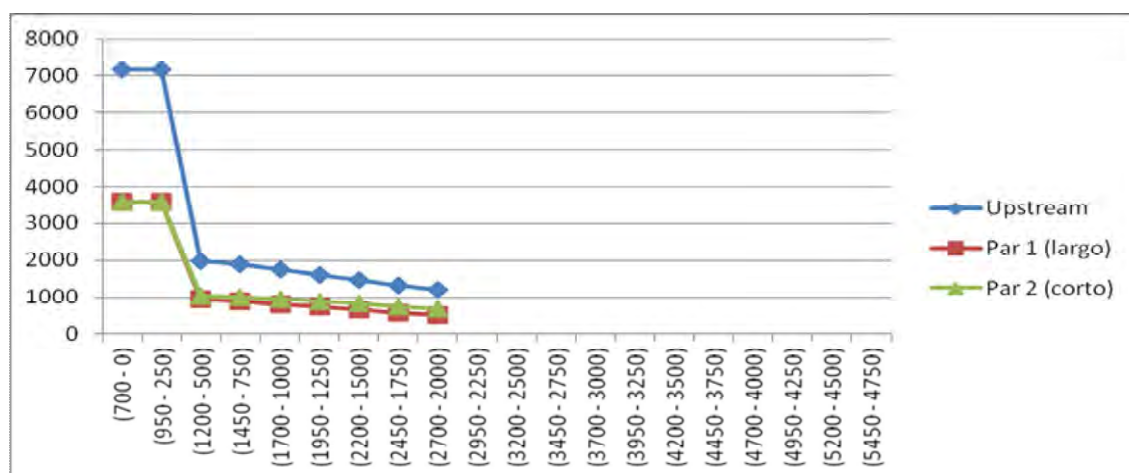


Fig. 7.118 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: M3+M3

7.7.2.3.3. AWGN + Modelo 3

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
700	0	61437	7166	30719	3583	30718	3583
950	250	49881	7166	19163	3583	30718	3583
1200	500	41491	2116	10773	936	30718	1180
1450	750	36301	2073	5583	881	30718	1192
1700	1000	34271	1943	3552	805	30719	1138
1950	1250	27696	1950	2286	736	25410	1214
2200	1500	18743	1850	1592	645	17151	1205
2450	1750	15170	1729	859	560	14311	1169
2700	2000	9309	1615	398	506	8911	1109

Tabla 7.49 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: AWGN+M3

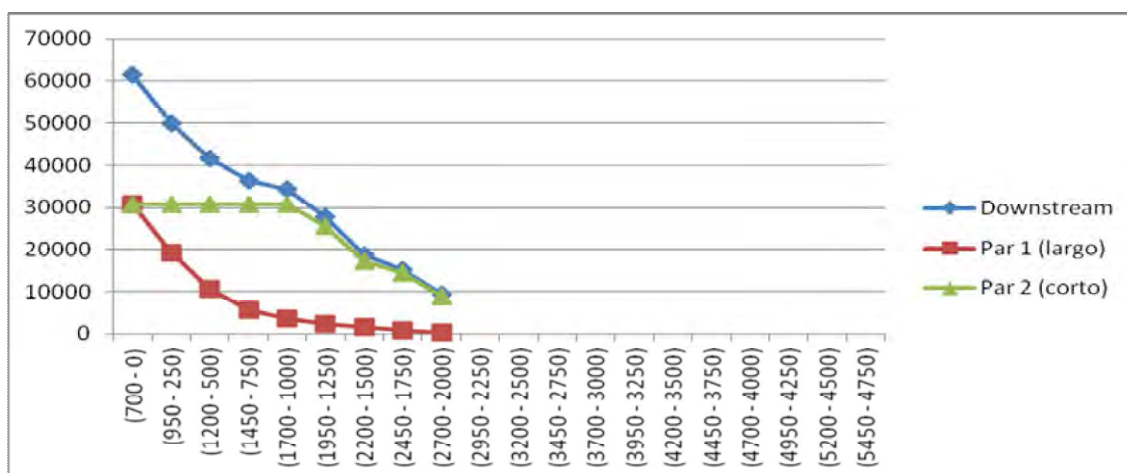


Fig. 7.119 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: AWGN+M3

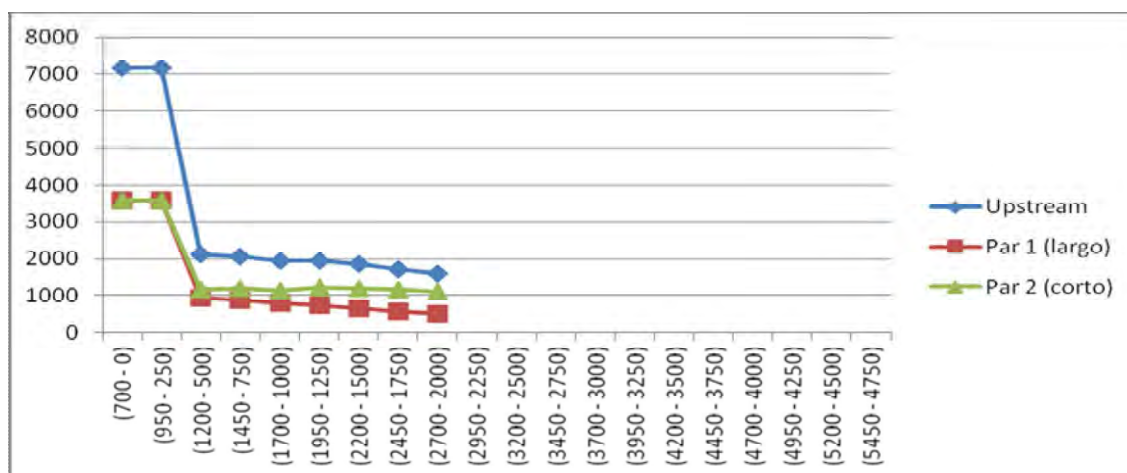


Fig. 7.120 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: AWGN+M3

7.7.2.3.4. Modelo 1 + Modelo 1

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
700	0	61436	7166	30718	3583	30718	3583
950	250	56208	7166	25490	3583	30718	3583
1200	500	46130	1973	15412	938	30718	1035
1450	750	38600	1897	7882	885	30718	1012
1700	1000	25262	1740	3556	779	21706	961
1950	1250	15043	1617	2615	733	12428	884
2200	1500	8035	1466	1898	641	6137	825
2450	1750	4396	1311	1072	563	3324	748
2700	2000	2770	1189	524	506	2246	683

Tabla 7.50 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: M1+M1

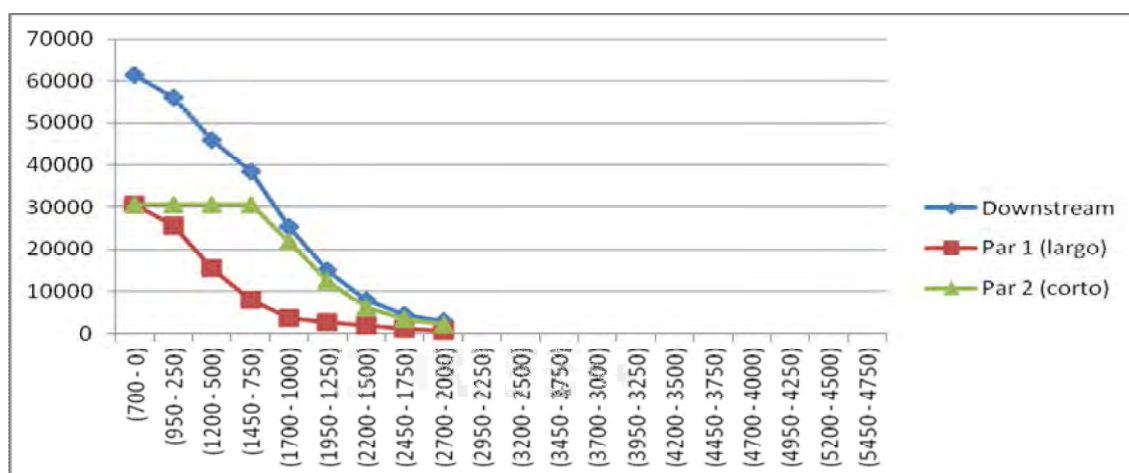


Fig. 7.121 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: M1+M1

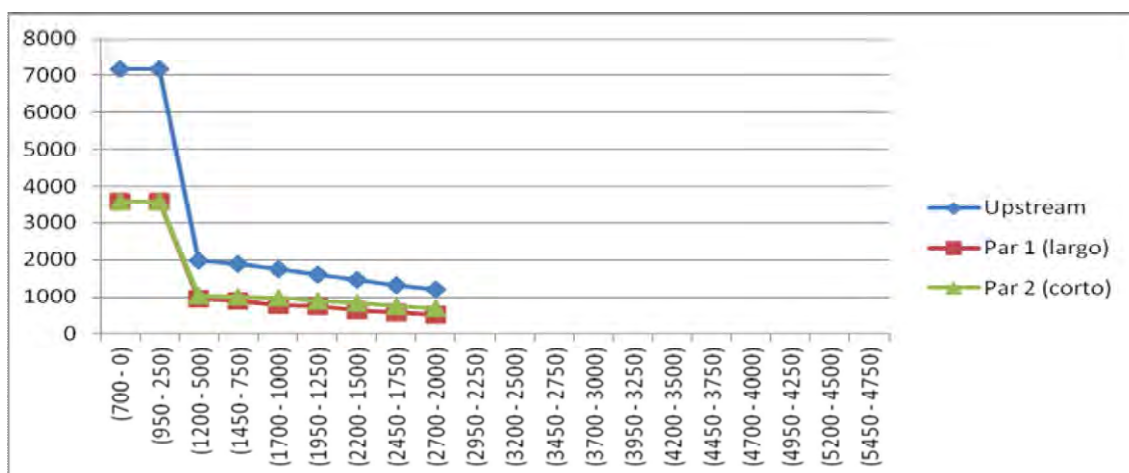


Fig. 7.122 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: M1+M1

7.7.2.3.5. Modelo 2 + Modelo 2

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
700	0	61436	7166	30718	3583	30718	3583
950	250	51926	7166	21208	3583	30718	3583
1200	500	43468	2035	12750	977	30718	1058
1450	750	36540	1955	6301	920	30239	1035
1700	1000	21572	1832	4015	847	17557	985
1950	1250	12448	1691	2574	771	9874	920
2200	1500	6969	1546	1861	683	5108	863
2450	1750	4309	1389	1093	603	3216	786
2700	2000	2744	1257	537	540	2207	717

Tabla 7.51 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: M2+M2

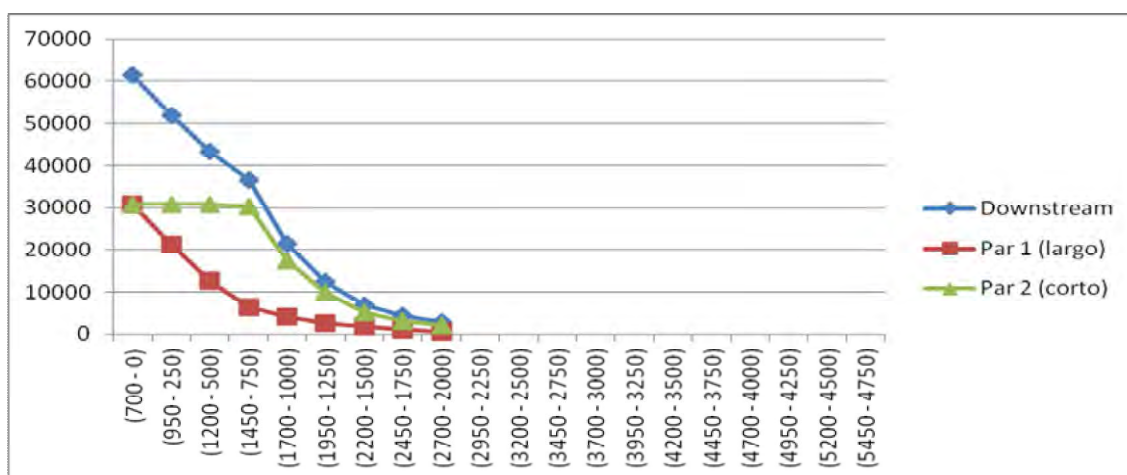


Fig. 7.123 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: M2+M2

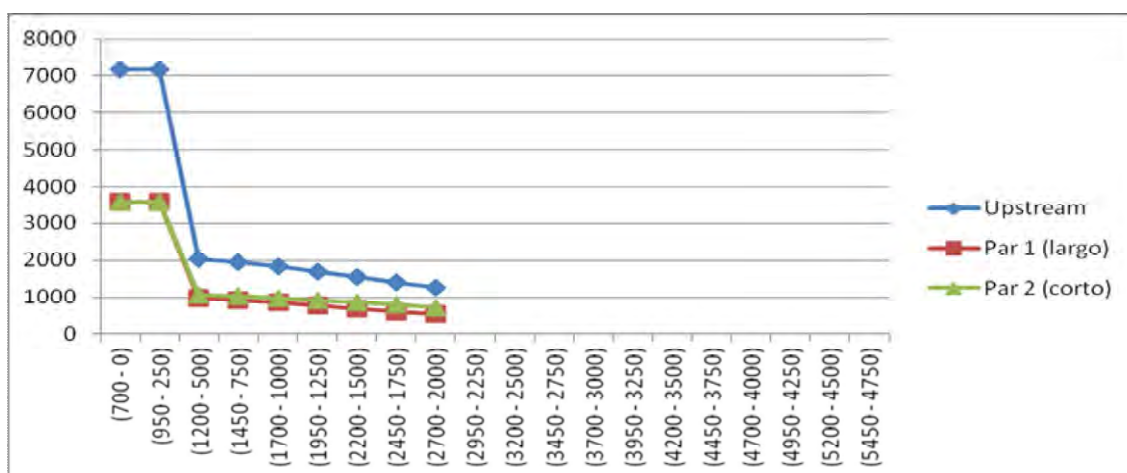


Fig. 7.124 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: M2+M2

7.7.2.3.6. Modelo 1 + Modelo 2

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
700	0	57896	7166	27178	3583	30718	3583
950	250	51593	7166	20875	3583	30718	3583
1200	500	43420	2012	12702	977	30718	1035
1450	750	37081	1921	6364	917	30717	1004
1700	1000	24453	1773	3776	840	20677	933
1950	1250	14950	1659	2548	771	12402	888
2200	1500	7939	1504	1865	683	6074	821
2450	1750	4379	1354	1077	606	3302	748
2700	2000	2751	1227	527	544	2224	683

Tabla 7.52 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: M1+M2

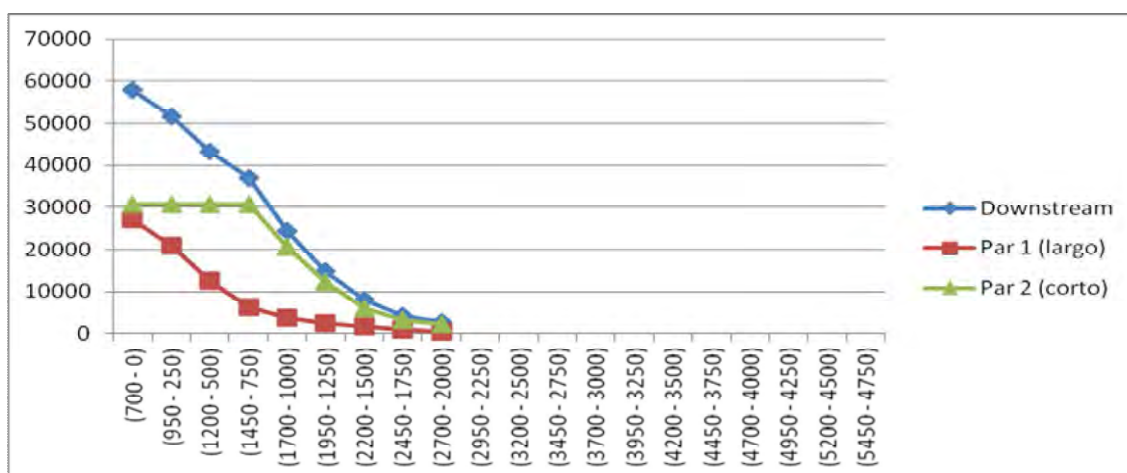


Fig. 7.125 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: M1+M2

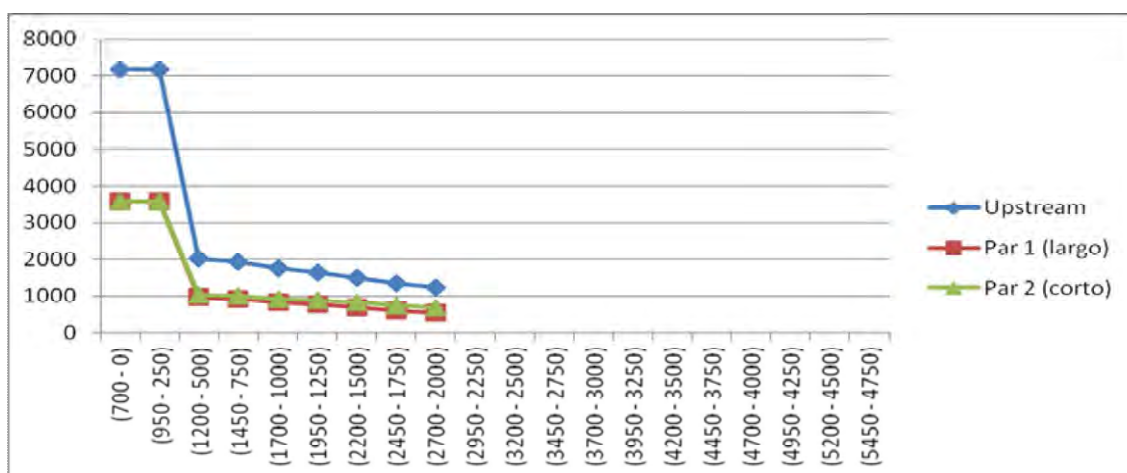


Fig. 7.126 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: M1+M2

7.7.2.3.7. Comparativa medidas downstream

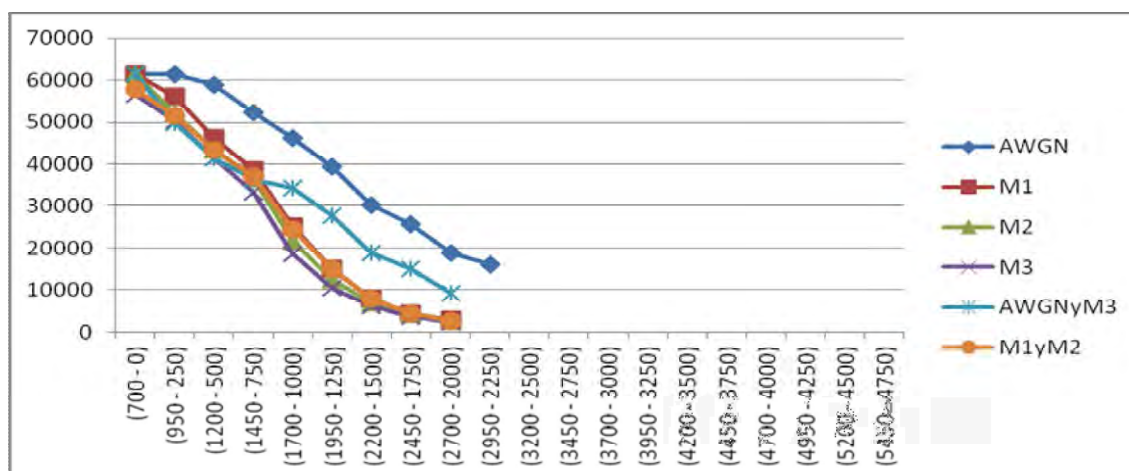


Fig. 7.127 Comparativa curvas Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps.
Diferencia longitud entre pares: 700m

Cuando se introduce una diferencia entre los bucles de unos 700 metros, apenas se mantiene la velocidad máxima en el caso de que la distancia del bucle más corto sea casi nula.

7.7.2.3.8. Comparativa medidas upstream

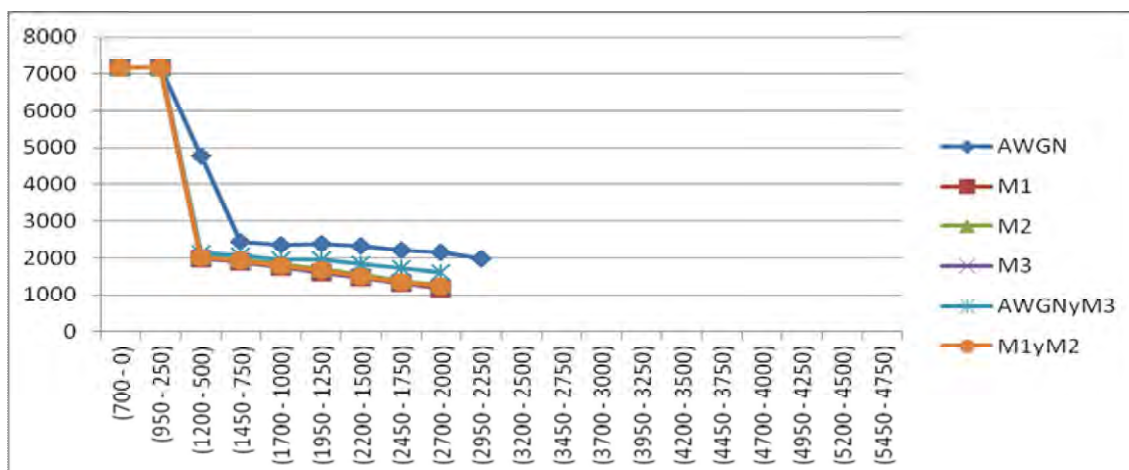


Fig. 7.128 Comparativa curvas Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: 30 Mbps/3,5 Mbps.
Diferencia longitud entre pares: 700m

En cambio, en el caso del sentido ascendente, todavía es posible en algún caso alcanzar la distancia máxima que permite el perfil.

7.7.3. Perfil limitado a 20 Mbps/1 Mbps en cada uno de los canales

7.7.3.1. Pares de la misma longitud

7.7.3.1.1. AWGN + AWGN

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
0	0	40956	2046	20478	1023	20478	1023
250	250	40956	2046	20478	1023	20478	1023
500	500	40956	2046	20478	1023	20478	1023
750	750	40956	2046	20478	1023	20478	1023
1000	1000	40956	2046	20478	1023	20478	1023
1250	1250	40956	2046	20478	1023	20478	1023
1500	1500	35909	2046	18843	1023	17066	1023
1750	1750	30516	2046	16003	1023	14513	1023
2000	2000	18656	2046	9768	1023	8888	1023
2250	2250	18165	2044	9764	1023	8401	1021
2500	2500	11916	2024	6323	1023	5593	1001
2750	2750	12774	1986	5743	1024	7031	962
3000	3000	8427	1810	4291	917	4136	893
3250	3250	7602	1672	3276	867	4326	805

Tabla 7.53 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: AWGN+AWG

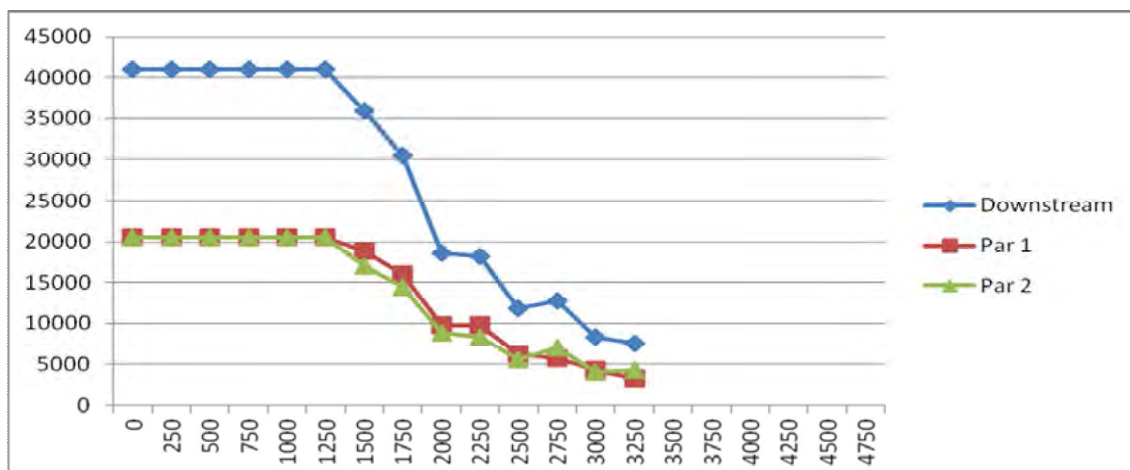


Fig. 7.129 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: AWGN+AWG

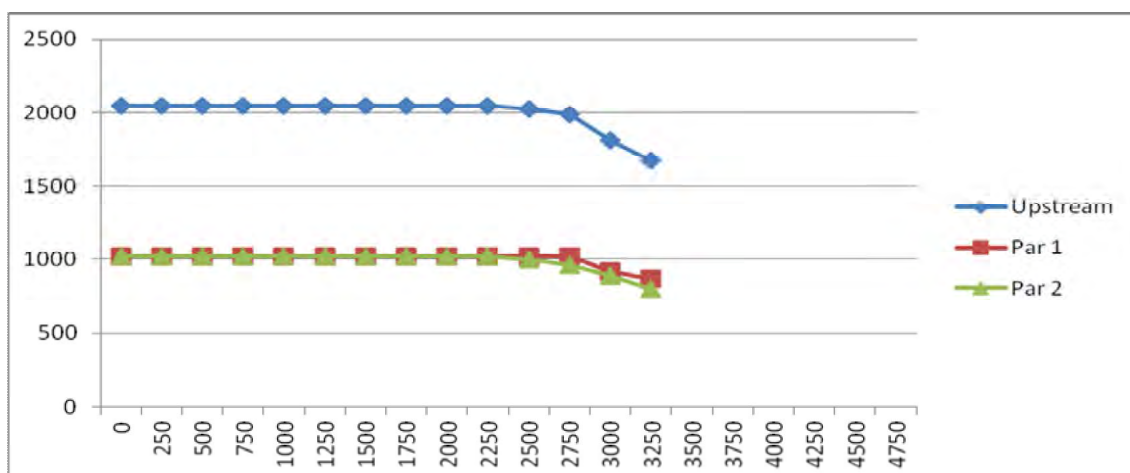


Fig. 7.130 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: AWGN+AWG

7.7.3.1.2. Modelo 3 + Modelo 3

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
0	0	40956	2046	20478	1023	20478	1023
250	250	40956	2046	20478	1023	20478	1023
500	500	40956	2046	20478	1023	20478	1023
750	750	40956	2046	20478	1023	20478	1023
1000	1000	31581	2046	16456	1023	15125	1023
1250	1250	17690	1805	9493	924	8197	881
1500	1500	9577	1688	5058	867	4519	821
1750	1750	5974	1535	3146	790	2828	745
2000	2000	4219	1400	2227	717	1992	683
2250	2250	2555	1199	1376	625	1179	574
2500	2500	1460	1047	837	552	623	495
2750	2750	588	914	336	481	252	433

Tabla 7.54 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: M3+M3

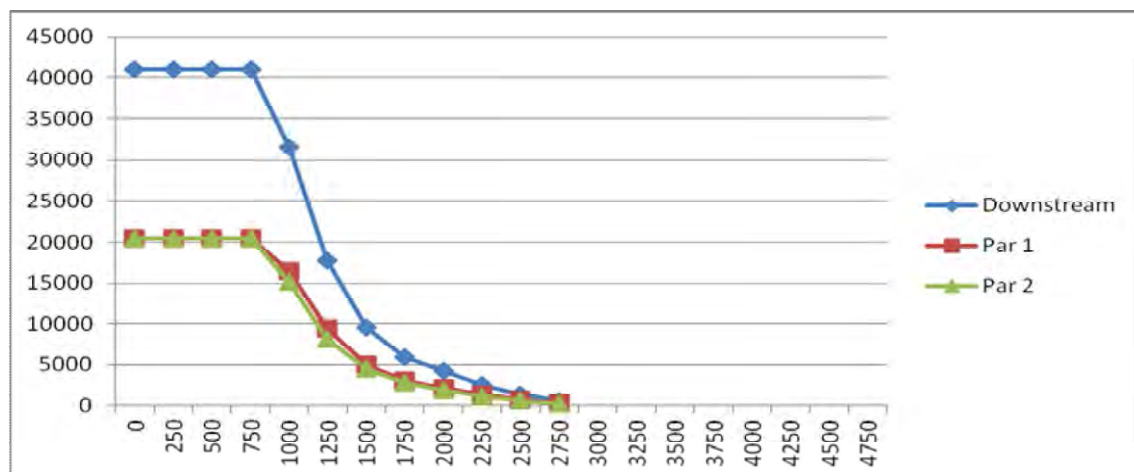


Fig. 7.131 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: M3+M3

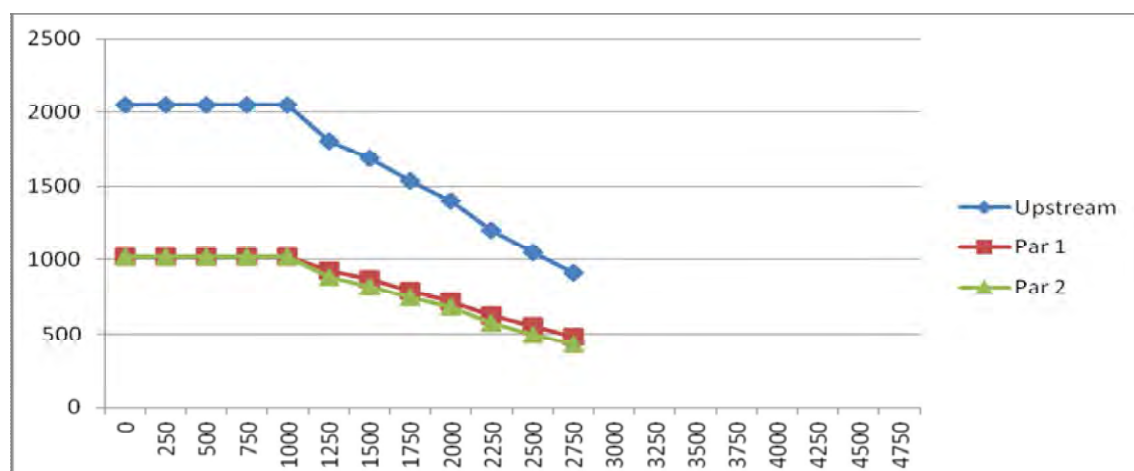


Fig. 7.132 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: M3+M3

7.7.3.1.3. AWGN + Modelo 3

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
0	0	40956	2046	20478	1023	20478	1023
250	250	40956	2046	20478	1023	20478	1023
500	500	40956	2046	20478	1023	20478	1023
750	750	40956	2046	20478	1023	20478	1023
1000	1000	36937	2046	16459	1023	20478	1023
1250	1250	29940	1947	9462	924	20478	1023
1500	1500	22228	1890	5065	867	17163	1023
1750	1750	17677	1813	3160	790	14517	1023
2000	2000	11190	1740	2216	717	8974	1023
2250	2250	9764	1640	1385	622	8379	1018
2500	2500	6430	1526	834	549	5596	977
2750	2750	7330	1417	330	481	7000	936

Tabla 7.55 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: AWGN+M3

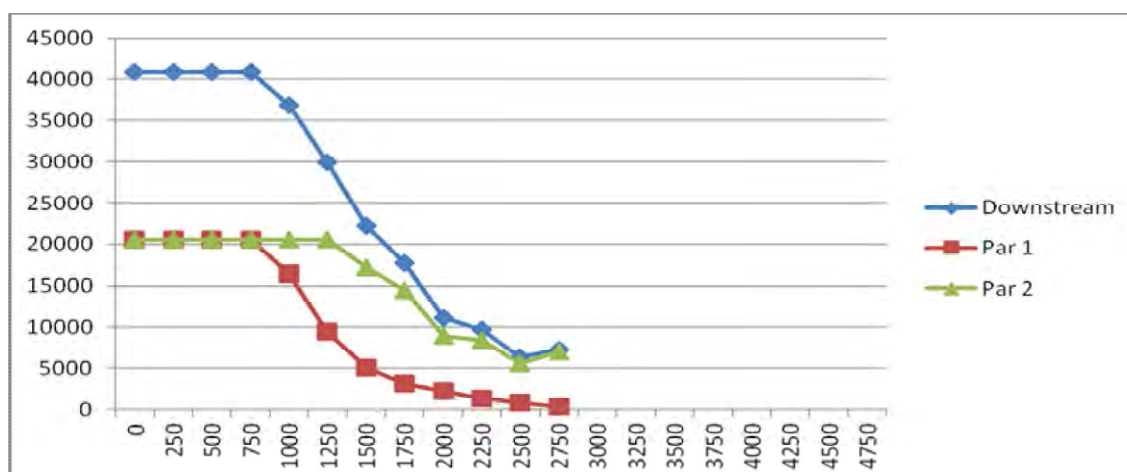


Fig. 7.133 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: AWGN+M3

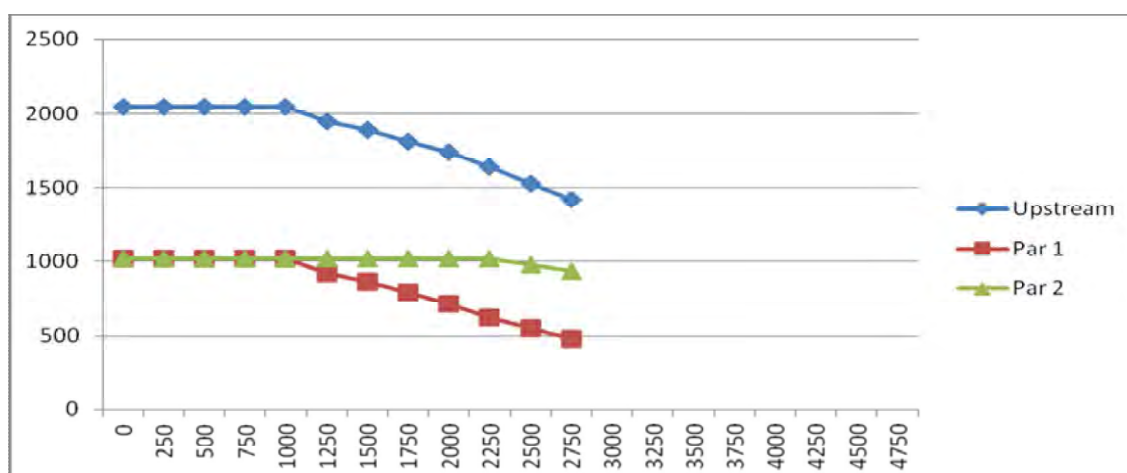


Fig. 7.134 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: AWGN+M3

7.7.3.1.4. Modelo 1 + Modelo 1

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
0	0	40956	2046	20478	1023	20478	1023
250	250	40956	2046	20478	1023	20478	1023
500	500	40956	2046	20478	1023	20478	1023
750	750	40956	2046	20478	1023	20478	1023
1000	1000	40658	2046	20480	1023	20178	1023
1250	1250	26194	1808	13807	927	12387	881
1500	1500	12867	1691	6815	870	6052	821
1750	1750	5928	1351	2645	606	3283	745
2000	2000	4711	1397	2495	714	2216	683
2250	2250	3065	1195	1631	625	1434	570
2500	2500	1863	1051	1036	552	827	499
2750	2750	816	915	446	478	370	437

Tabla 7.56 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: M1+M1

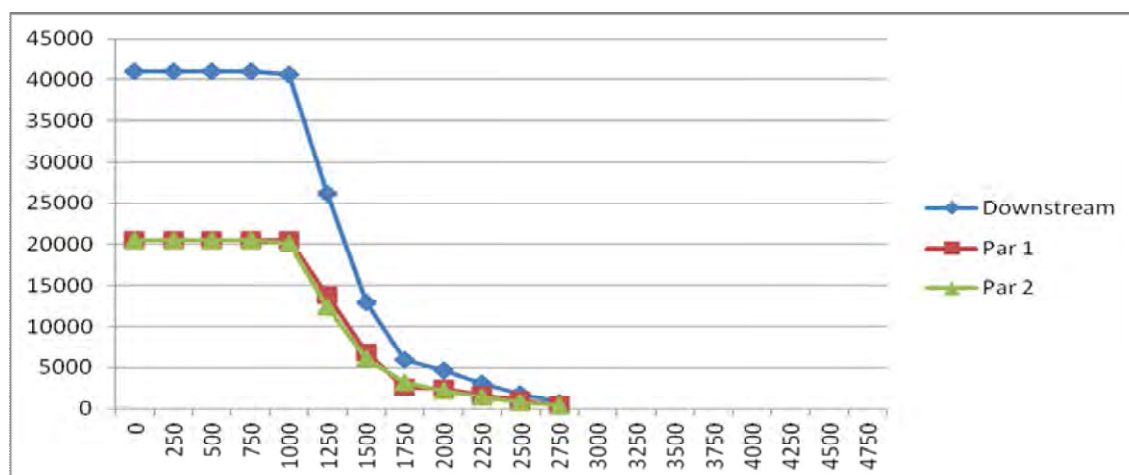


Fig. 7.135 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: M1+M1

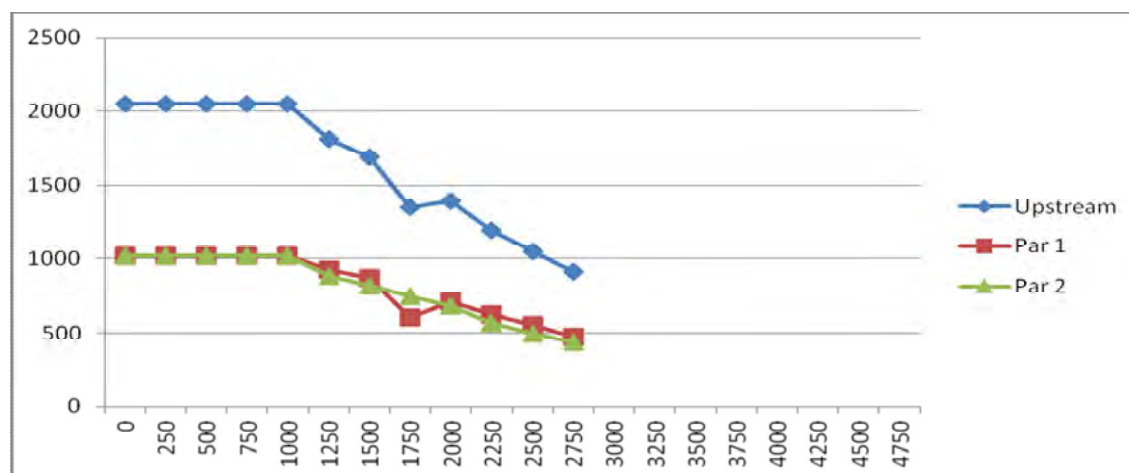


Fig. 7.136 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: M1+M1

7.7.3.1.5. Modelo 2 + Modelo 2

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
0	0	40956	2046	20478	1023	20478	1023
250	250	40956	2046	20478	1023	20478	1023
500	500	40956	2046	20478	1023	20478	1023
750	750	40956	2046	20478	1023	20478	1023
1000	1000	37607	2046	20035	1023	17572	1023
1250	1250	21003	1879	11198	962	9805	917
1500	1500	10655	1764	5586	905	5069	859
1750	1750	6570	1607	3351	825	3219	782
2000	2000	4682	1469	2458	752	2224	717
2250	2250	3036	1278	1618	668	1418	610

Tabla 7.57 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: M2+M2

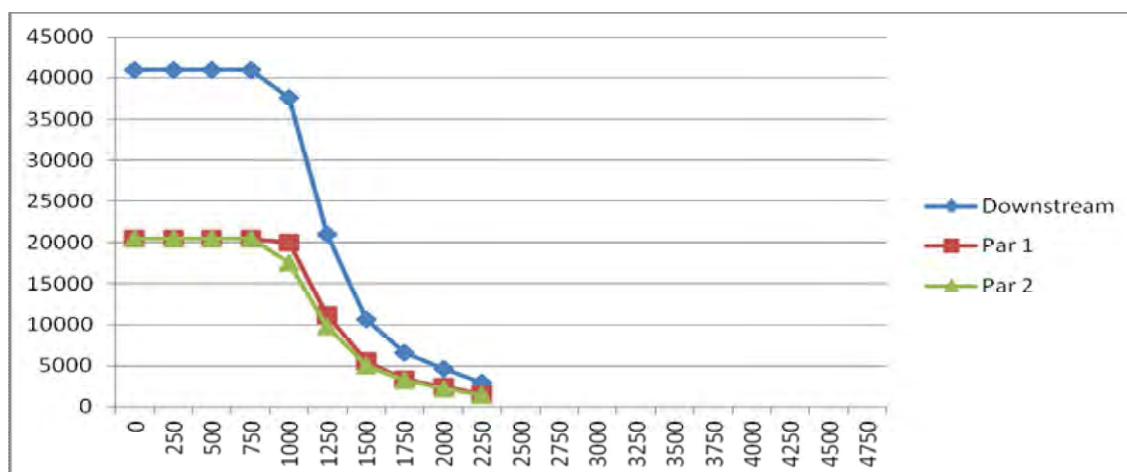


Fig. 7.137 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: M2+M2

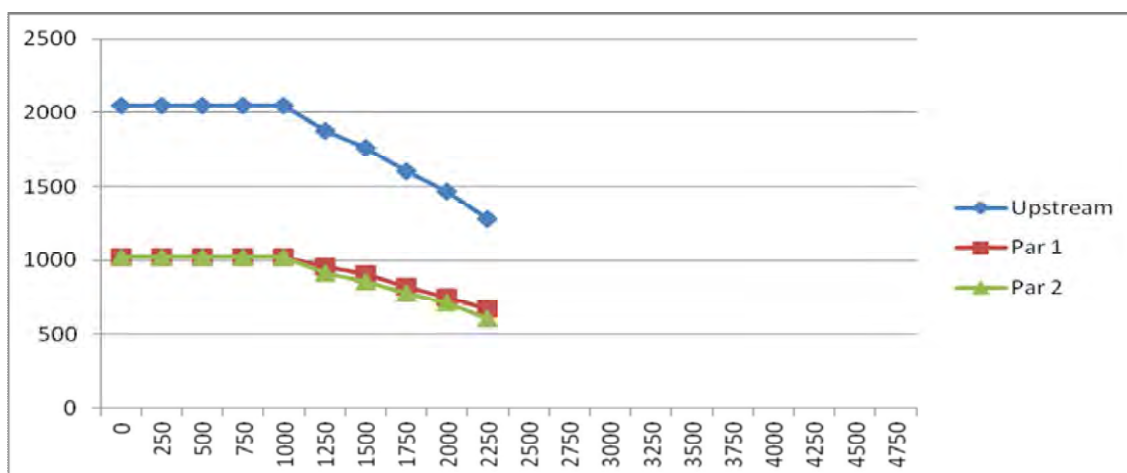


Fig. 7.138 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: M2+M2

7.7.3.1.6. Modelo 1 + Modelo 2

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
0	0	40956	2046	20478	1023	20478	1023
250	250	40956	2046	20478	1023	20478	1023
500	500	40956	2046	20478	1023	20478	1023
750	750	40956	2046	20478	1023	20478	1023
1000	1000	40537	2046	20058	1023	20479	1023
1250	1250	23622	1847	11209	966	12413	881
1500	1500	11706	1734	5595	909	6111	825
1750	1750	6668	1577	3366	829	3302	748
2000	2000	4719	1436	2499	756	2220	680
2250	2250	3084	1244	1621	668	1463	576

Tabla 7.58 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: M1+M2

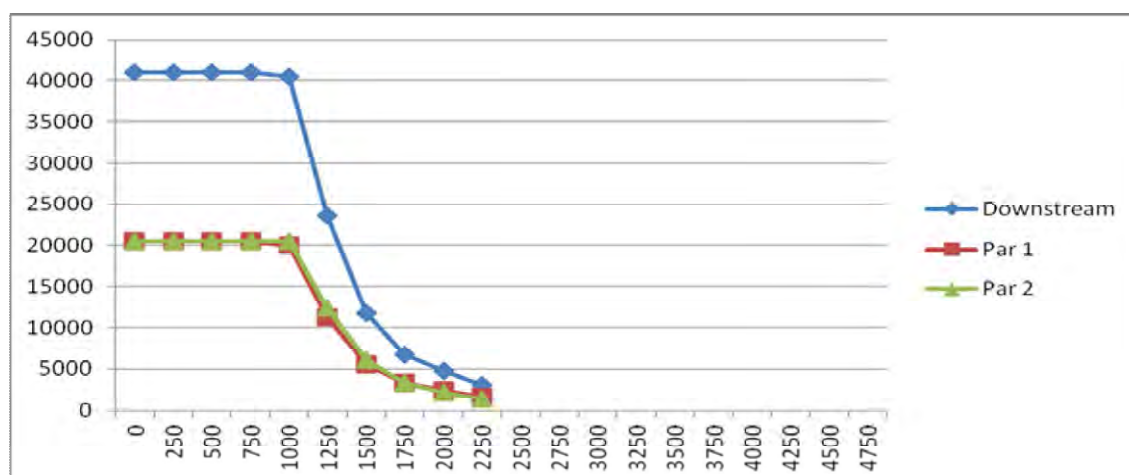


Fig. 7.139 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: M1+M2

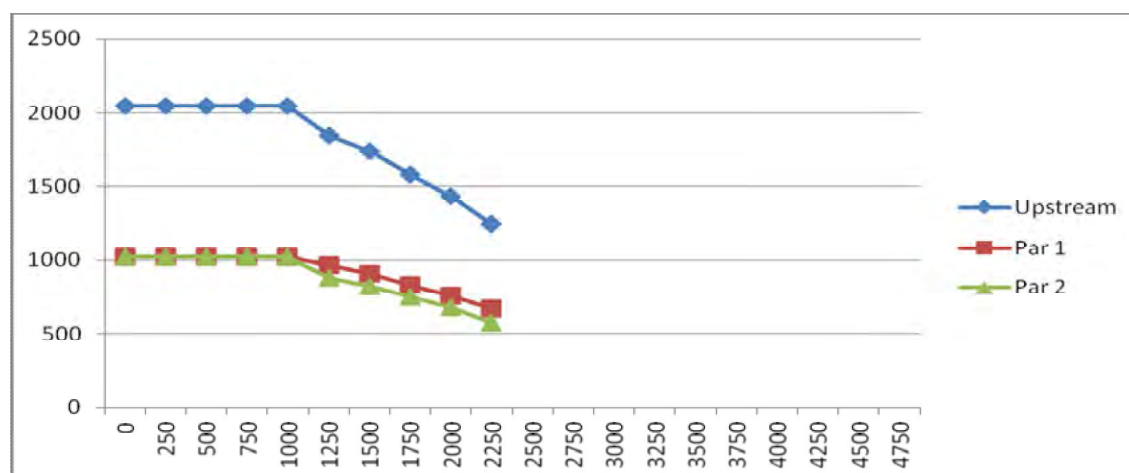


Fig. 7.140 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 0m Ruido: M1+M2

7.7.3.1.7. Comparativa medidas downstream

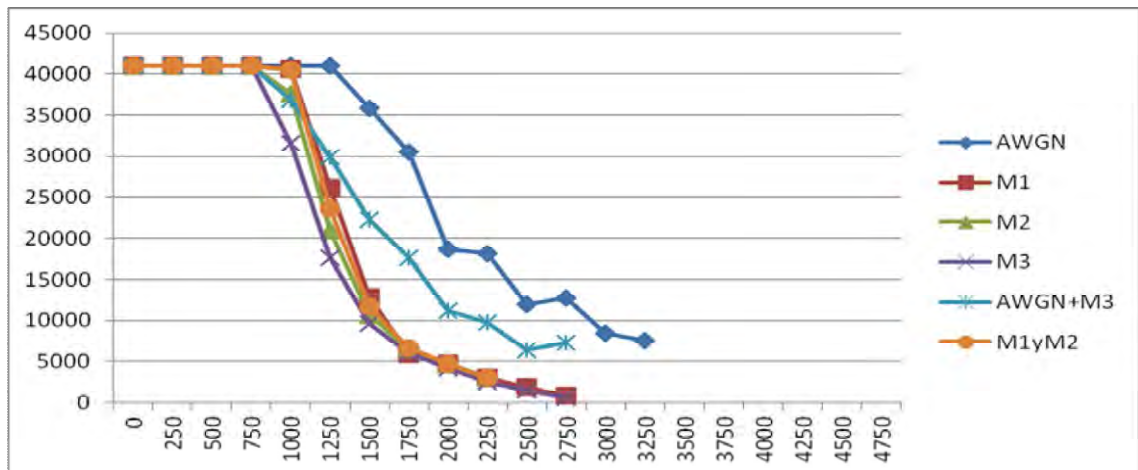


Fig. 7.141 Comparativa curvas Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 0m

7.7.3.1.8. Comparativa medidas upstream

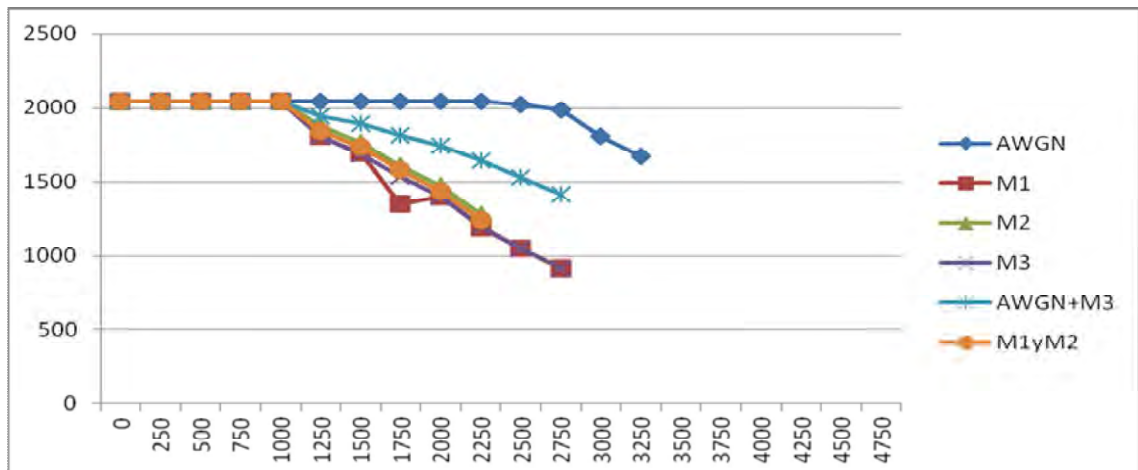


Fig. 7.142 Comparativa curvas Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 0m

7.7.3.2. Pares con una diferencia de 400m de longitud

7.7.3.2.1. AWGN + AWGN

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
400	0	40956	2046	20478	1023	20478	1023
650	250	40956	2046	20478	1023	20478	1023
900	500	40956	2046	20478	1023	20478	1023
1150	750	40956	2046	20478	1023	20478	1023
1400	1000	40958	2046	20480	1023	20478	1023
1650	1250	37122	2046	17666	1023	19546	1023
1900	1500	28434	2046	11471	1023	16963	1023
2150	1750	25095	2046	10758	1023	14337	1023
2400	2000	15553	2044	6798	1021	8755	1023
2650	2250	14827	2048	6429	1024	8398	1024

Tabla 7.59 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: AWGN+AWG

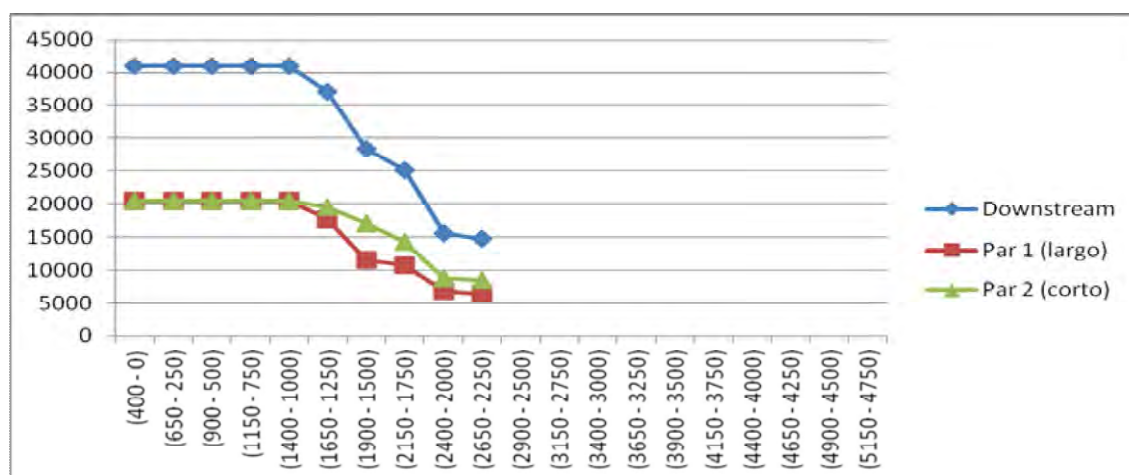


Fig. 7.143 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: AWGN+AWG

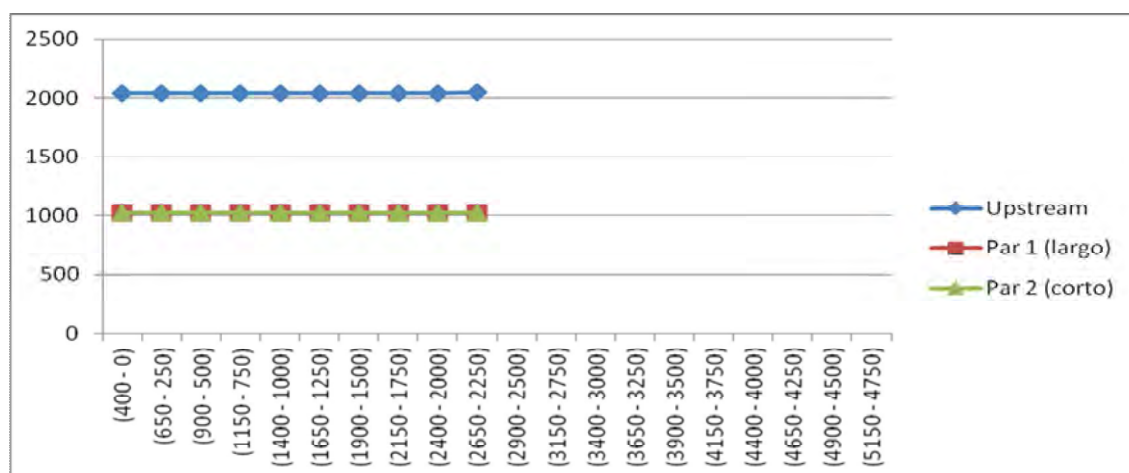


Fig. 7.144 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: AWGN+AWG

7.7.3.2.2. Modelo 3 + Modelo 3

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
400	0	40956	2046	20478	1023	20478	1023
650	250	40956	2046	20478	1023	20478	1023
900	500	40956	2046	20478	1023	20478	1023
1150	750	32354	2046	11876	1023	20478	1023
1400	1000	21418	1856	6327	909	15091	947
1650	1250	11944	1699	3736	821	8208	878
1900	1500	7081	1569	2574	748	4507	821
2150	1750	4467	1412	1639	664	2828	748
2400	2000	2978	1260	1020	580	1958	680
2650	2250	1655	1099	476	525	1179	574

Tabla 7.60 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: M3+M3

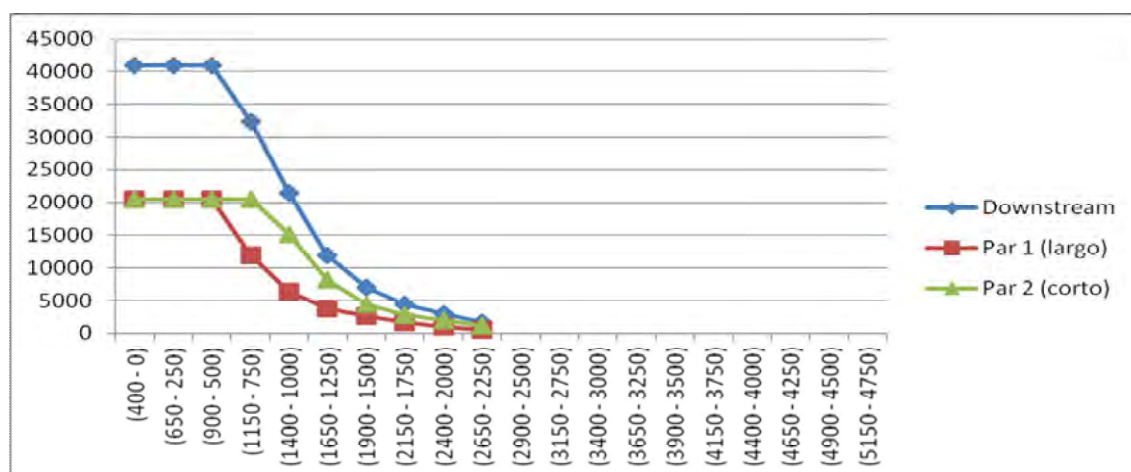


Fig. 7.145 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: M3+M3

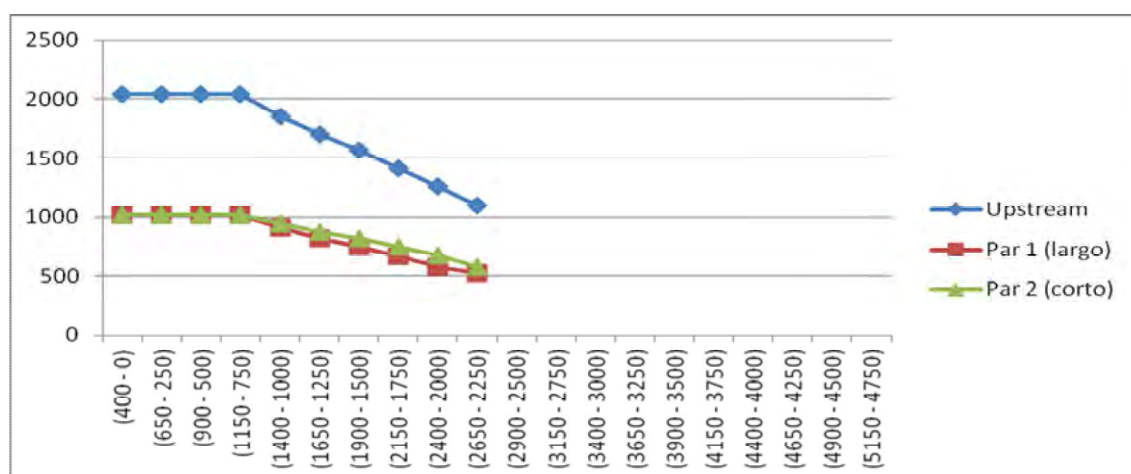


Fig. 7.146 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: M3+M3

7.7.3.2.3. AWGN + Modelo 3

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
400	0	40956	2046	20478	1023	20478	1023
650	250	40956	2046	20478	1023	20478	1023
900	500	40956	2046	20478	1023	20478	1023
1150	750	32366	2046	11888	1023	20478	1023
1400	1000	26816	1928	6338	905	20478	1023
1650	1250	24214	1841	3736	818	20478	1023
1900	1500	19681	1768	2581	745	17100	1023
2150	1750	16127	1684	1671	661	14456	1023
2400	2000	9918	1603	1027	580	8891	1023
2650	2250	8958	1548	462	525	8496	1023

Tabla 7.61 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: AWGN+M3

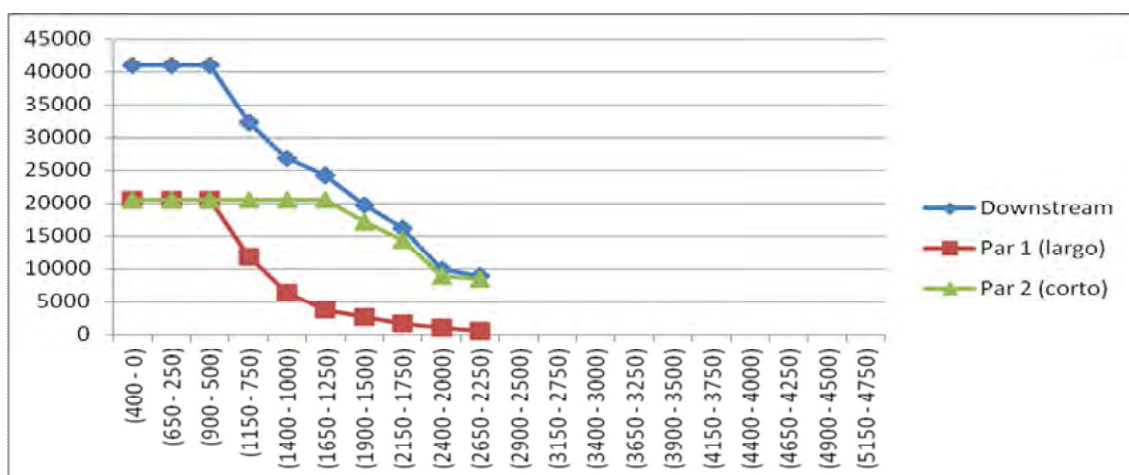


Fig. 7.147 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: AWGN+M3

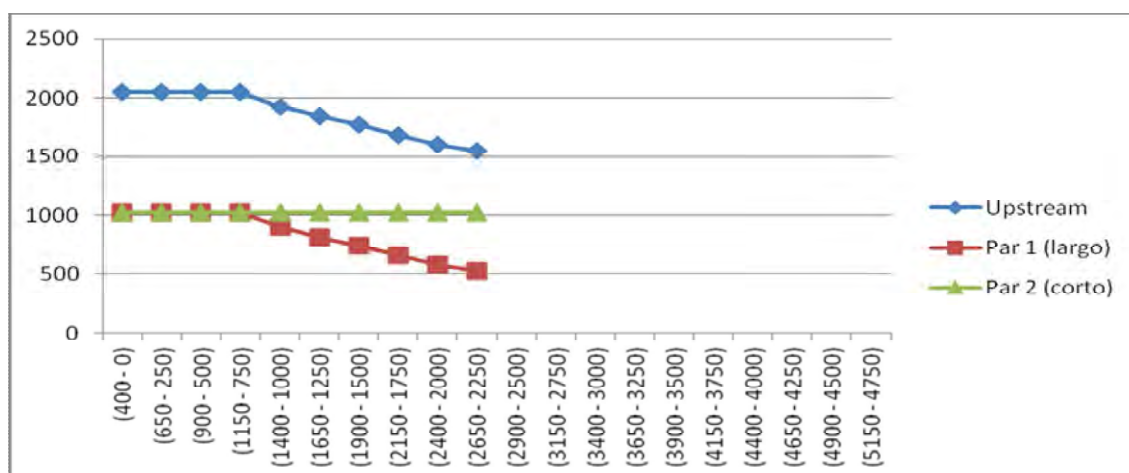


Fig. 7.148 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: AWGN+M3

7.7.3.2.4. Modelo 1 + Modelo 1

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
400	0	40956	2046	20478	1023	20478	1023
650	250	40956	2046	20478	1023	20478	1023
900	500	40956	2046	20478	1023	20478	1023
1150	750	37796	2046	17318	1023	20478	1023
1400	1000	29718	1834	9239	905	20479	929
1650	1250	16589	1701	4228	821	12361	880
1900	1500	8670	1493	2607	668	6063	825
2150	1750	5253	1406	1951	661	3302	745
2400	2000	3508	1263	1259	580	2249	683
2650	2250	2082	1095	634	521	1448	574
2900	2500	1126	905	289	410	837	495

Tabla 7.62 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: M1+M1

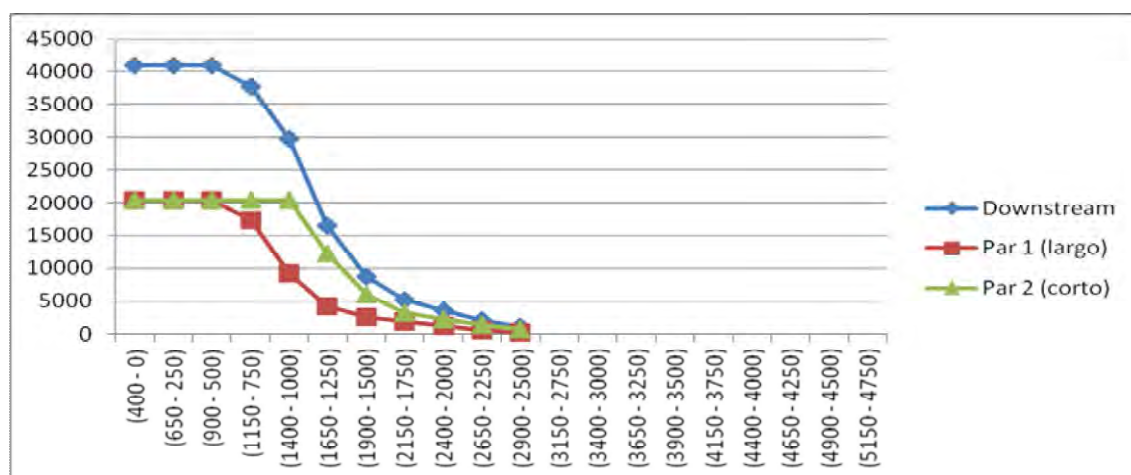


Fig. 7.149 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: M1+M1

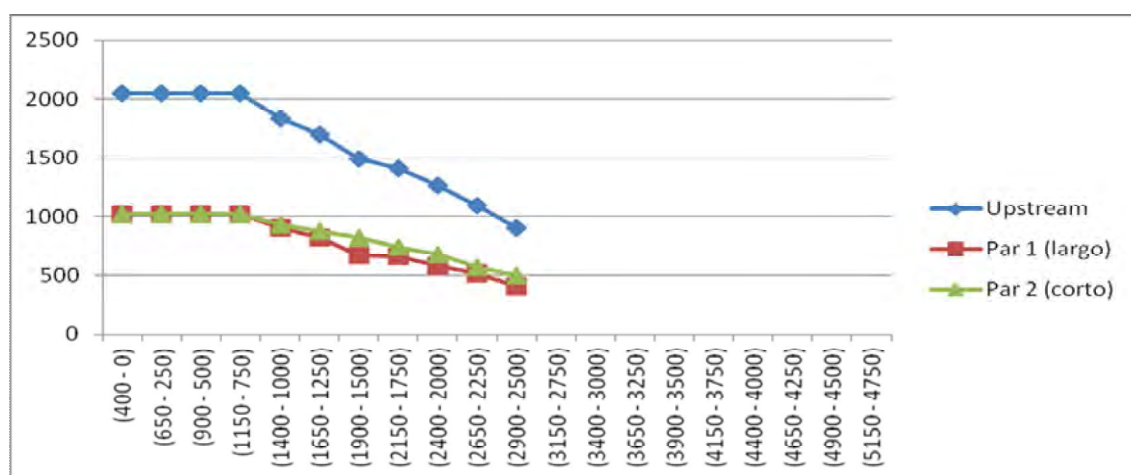


Fig. 7.150 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: M1+M1

7.7.3.2.5. Modelo 2 + Modelo 2

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
400	0	40956	2046	20478	1023	20478	1023
650	250	40956	2046	20478	1023	20478	1023
900	500	40957	2046	20479	1023	20478	1023
1150	750	34591	2046	14113	1023	20478	1023
1400	1000	24865	1927	7365	943	17500	984
1650	1250	14022	1776	4206	859	9816	917
1900	1500	7905	1641	2828	782	5077	859
2150	1750	5125	1481	1928	699	3197	782
2400	2000	3476	1339	1234	618	2242	721
2650	2250	2044	1169	623	563	1421	606

Tabla 7.63 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: M2+M2

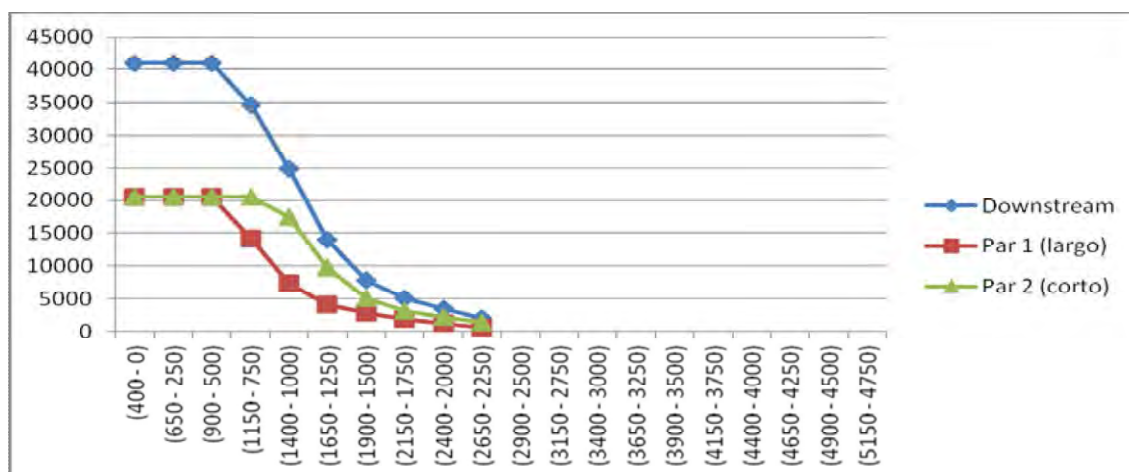


Fig. 7.151 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: M2+M2

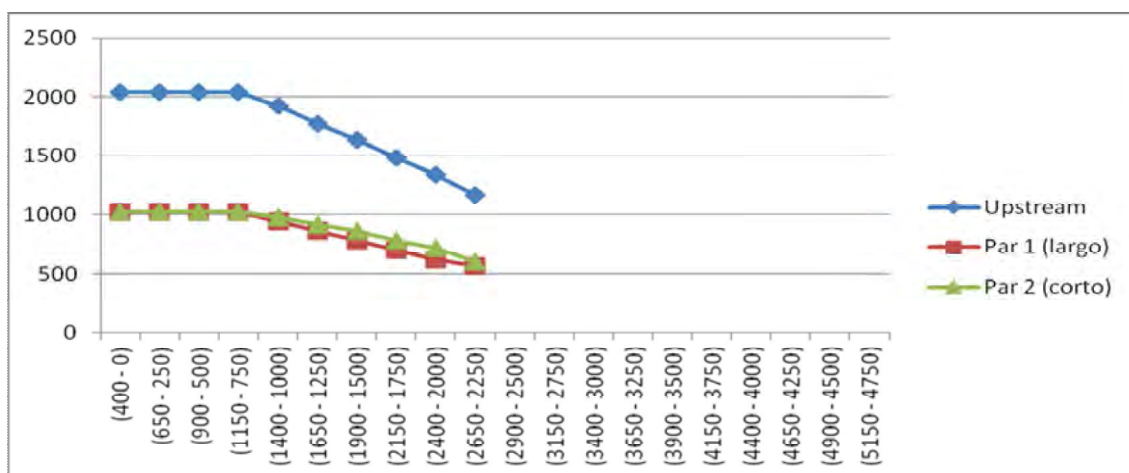


Fig. 7.152 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: M2+M2

7.7.3.2.6. Modelo 1 + Modelo 2

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
400	0	40956	2046	20478	1023	20478	1023
650	250	40956	2046	20478	1023	20478	1023
900	500	40956	2046	20478	1023	20478	1023
1150	750	34606	2046	14128	1023	20478	1023
1400	1000	27844	1876	7369	943	20475	933
1650	1250	16605	1740	4188	859	12417	881
1900	1500	8921	1603	2843	782	6078	821
2150	1750	5223	1443	1925	695	3298	748
2400	2000	3467	1301	1225	618	2242	683
2650	2250	2081	1137	631	563	1450	574

Tabla 7.64 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: M1+M2

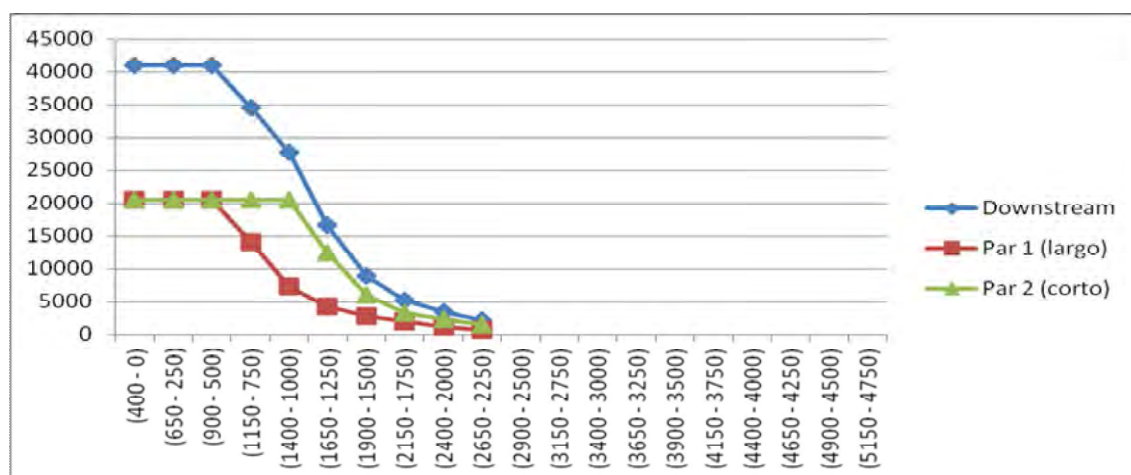


Fig. 7.153 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: M1+M2

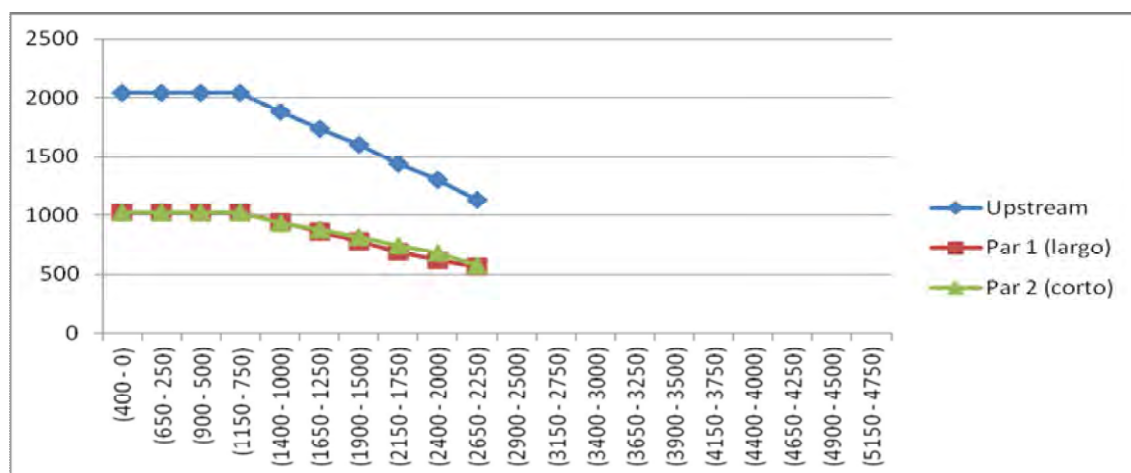


Fig. 7.154 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 400m Ruido: M1+M2

7.7.3.2.7. Comparativa medidas downstream

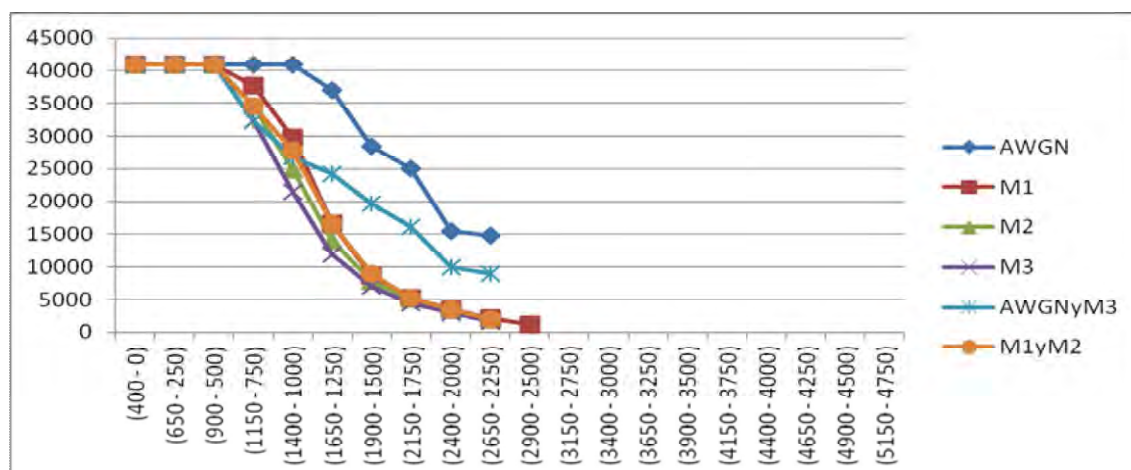


Fig. 7.155 Comparativa curvas Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 400m

7.7.3.2.8. Comparativa medidas upstream

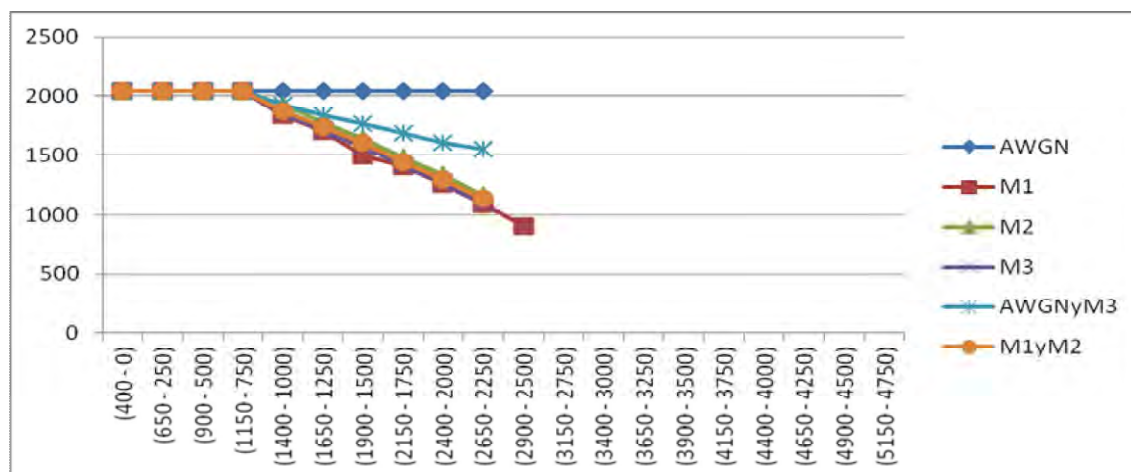


Fig. 7.156 Comparativa curvas Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 400m

7.7.3.3. Pares con una diferencia de 700m de longitud

7.7.3.3.1. AWGN + AWGN

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
700	0	40956	2046	20478	1023	20478	1023
950	250	40956	2046	20478	1023	20478	1023
1200	500	40956	2046	20478	1023	20478	1023
1450	750	40957	2046	20479	1023	20478	1023
1700	1000	35347	1957	14869	924	20478	1023
1950	1250	32966	1935	12488	912	20480	1023
2200	1500	30254	1875	9828	852	20426	1023
2450	1750	25742	1825	8373	802	17369	1023
2700	2000	18951	1786	6675	763	12276	1023
2950	2250	16091	1704	5220	680	10871	1024
3200	2500	12541	1603	3967	584	8574	1019

Tabla 7.65 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: AWGN+AWG

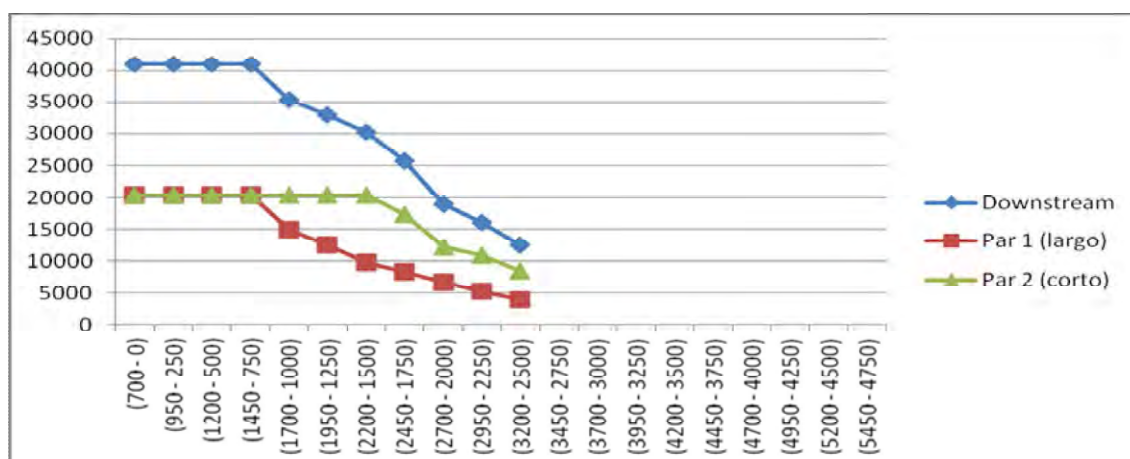


Fig. 7.157 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: AWGN+AWG

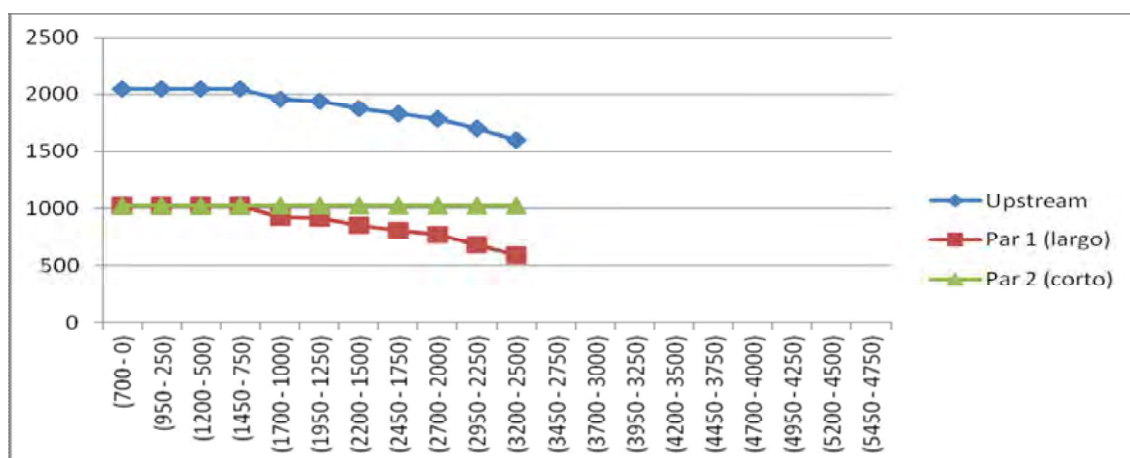


Fig. 7.158 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: AWGN+AWG

7.7.3.3.2. Modelo 3 + Modelo 3

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
700	0	40956	2046	20478	1023	20478	1023
950	250	38640	2046	18162	1023	20478	1023
1200	500	31254	1954	10776	936	20478	1018
1450	750	26053	1885	5575	881	20478	1004
1700	1000	18621	1755	3537	805	15084	950
1950	1250	10428	1607	2246	729	8182	878
2200	1500	6089	1459	1585	641	4504	818
2450	1750	3710	1311	882	563	2828	748
2700	2000	2402	1190	398	510	2004	680

Tabla 7.66 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: M3+M3

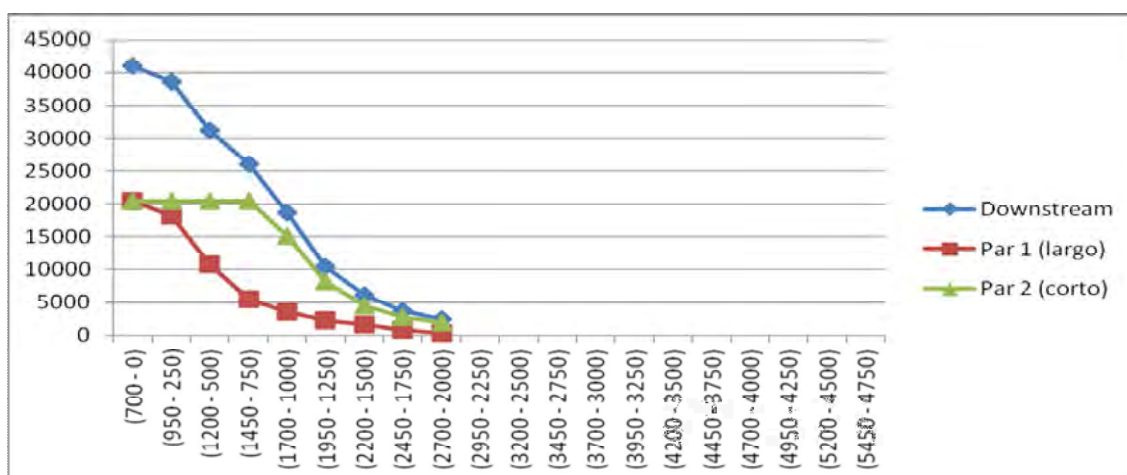


Fig. 7.159 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: M3+M3

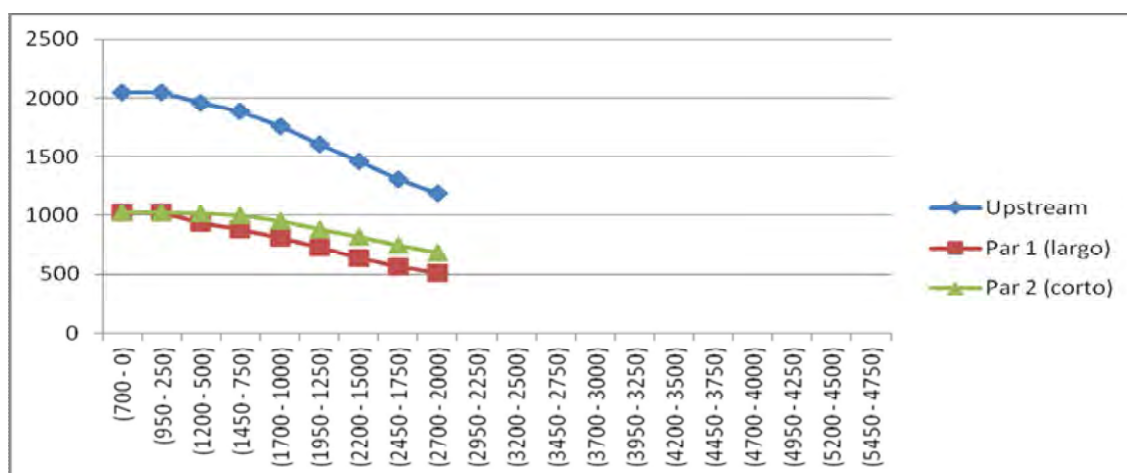


Fig. 7.160 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: M3+M3

7.7.3.3.3. AWGN + Modelo 3

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
700	0	40956	2046	20478	1023	20478	1023
950	250	38682	2046	18204	1023	20478	1023
1200	500	31251	1959	10773	936	20478	1023
1450	750	26046	1904	5568	881	20478	1023
1700	1000	24034	1832	3556	809	20478	1023
1950	1250	22760	1756	2282	733	20478	1023
2200	1500	18575	1668	1585	645	16990	1023
2450	1750	15292	1583	866	560	14426	1023
2700	2000	9231	1526	393	503	8838	1023

Tabla 7.67 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: AWGN+M3

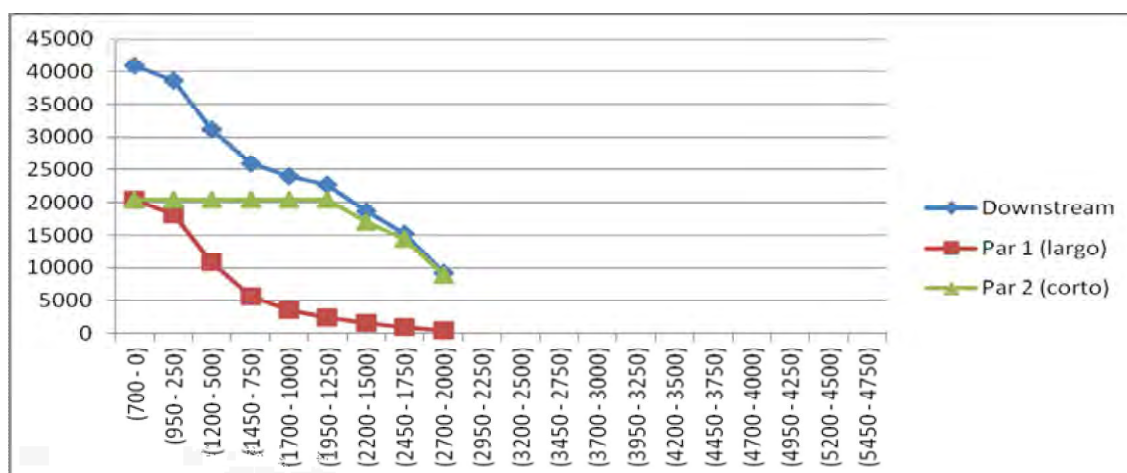


Fig. 7.161 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: AWGN+M3

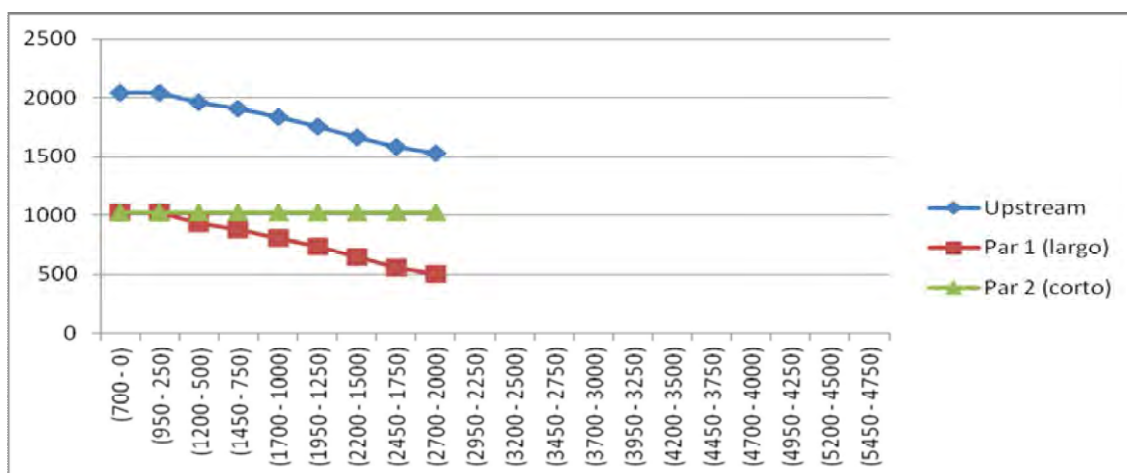


Fig. 7.162 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: AWGN+M3

7.7.3.3.4. Modelo 1 + Modelo 1

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
700	0	40956	2046	20478	1023	20478	1023
950	250	40957	2046	20479	1023	20478	1023
1200	500	34834	1938	14356	915	20478	1023
1450	750	27655	1878	7177	859	20478	1019
1700	1000	24022	1737	3548	782	20474	955
1950	1250	15658	1615	2380	703	13278	912
2200	1500	8542	1461	1682	614	6860	847
2450	1750	4590	1308	926	533	3664	775
2700	2000	2877	1188	453	474	2424	714

Tabla 7.68 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: M1+M1

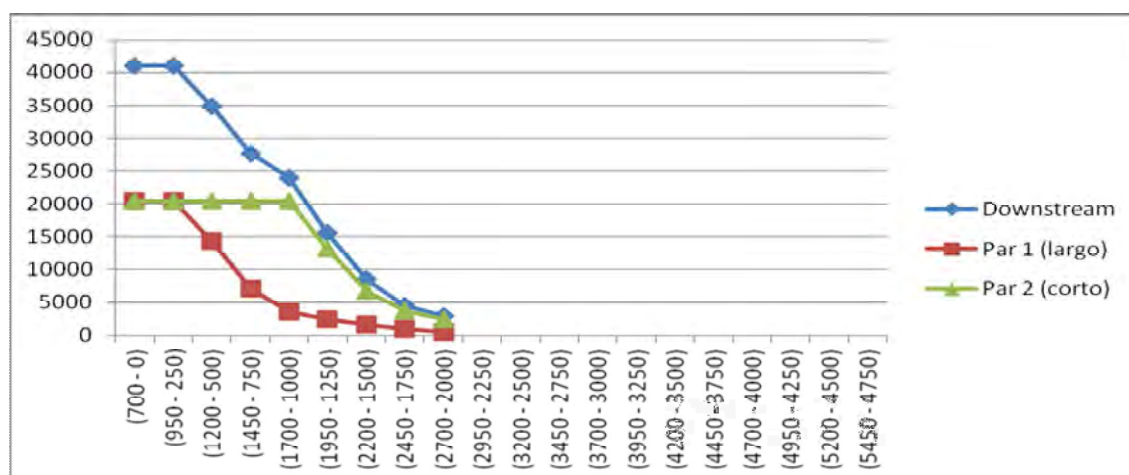


Fig. 7.163 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: M1+M1

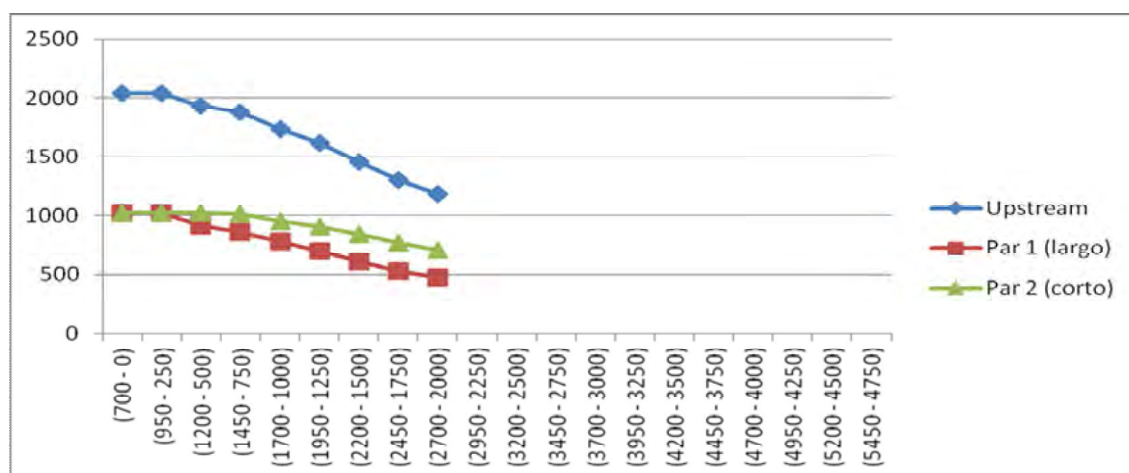


Fig. 7.164 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: M1+M1

7.7.3.3.5. Modelo 2 + Modelo 2

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
700	0	40956	2046	20478	1023	20478	1023
950	250	40957	2046	20479	1023	20478	1023
1200	500	33184	1995	12706	977	20478	1018
1450	750	26797	1947	6319	924	20478	1023
1700	1000	21432	1829	4004	844	17428	985
1950	1250	12381	1692	2548	775	9833	917
2200	1500	6923	1535	1865	680	5058	855
2450	1750	4285	1385	1077	603	3208	782
2700	2000	2748	1257	524	540	2224	717

Tabla 7.69 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: M2+M2

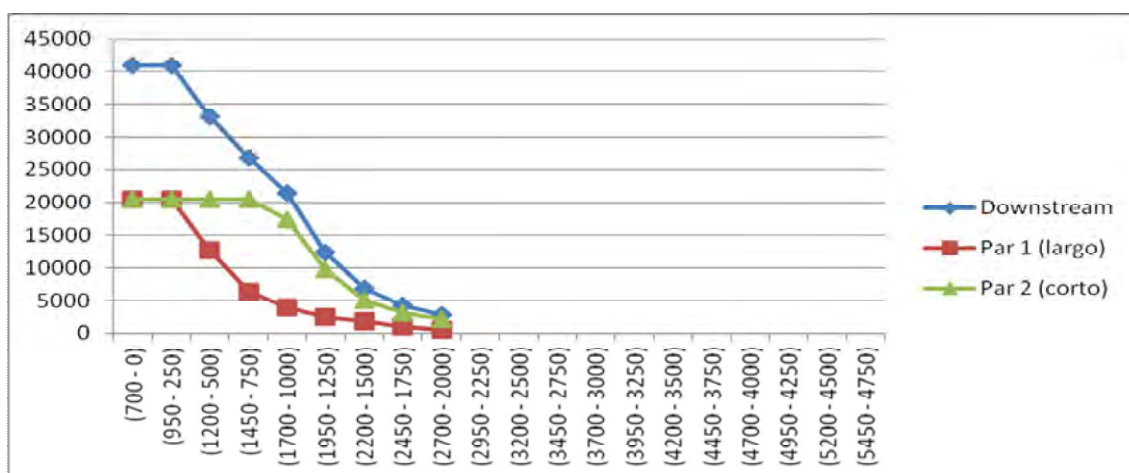


Fig. 7.165 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: M2+M2

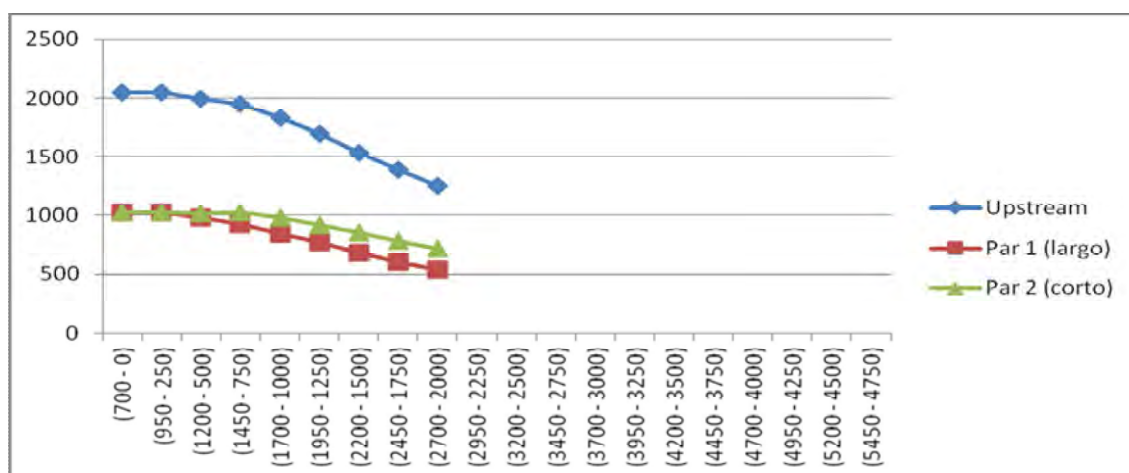


Fig. 7.166 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: M2+M2

7.7.3.3.6. Modelo 1 + Modelo 2

DISTANCIA (m) Par 1	DISTANCIA (m) Par 2	DOWNSTREAM (Kbps)	UPSTREAM (Kbps)	DOWNSTREAM Par 1	UPSTREAM Par 1	DOWNSTREAM Par 2	UPSTREAM Par 2
700	0	40956	2046	20478	1023	20478	1023
950	250	40958	2046	20480	1023	20478	1023
1200	500	34827	1939	14349	915	20478	1024
1450	750	27681	1878	7203	855	20478	1023
1700	1000	22131	1777	3552	779	18579	998
1950	1250	13056	1649	2387	706	10669	943
2200	1500	7179	1495	1689	614	5490	881
2450	1750	4489	1347	941	533	3548	814
2700	2000	2837	1230	446	478	2391	752

Tabla 7.70 Resultados simulaciones VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: M1+M2

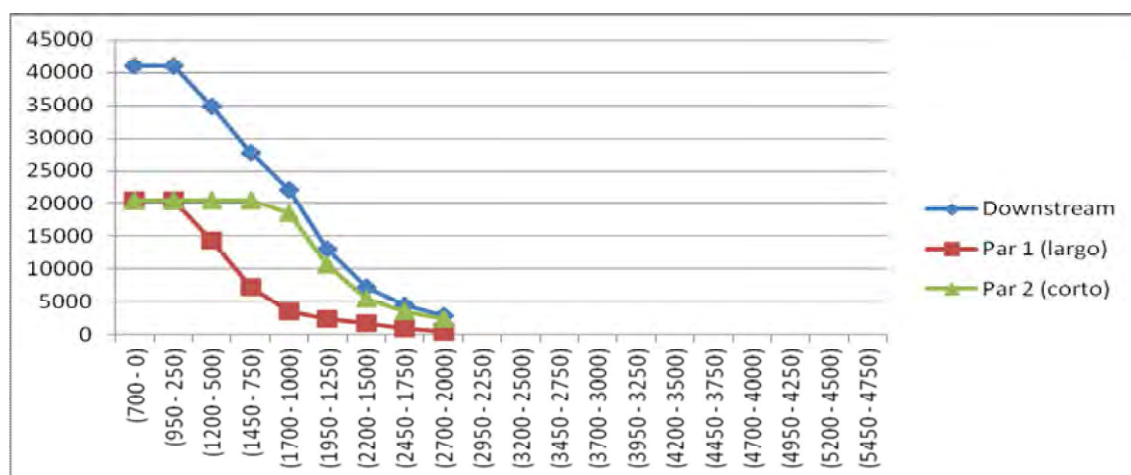


Fig. 7.167 Curva velocidades Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: M1+M2

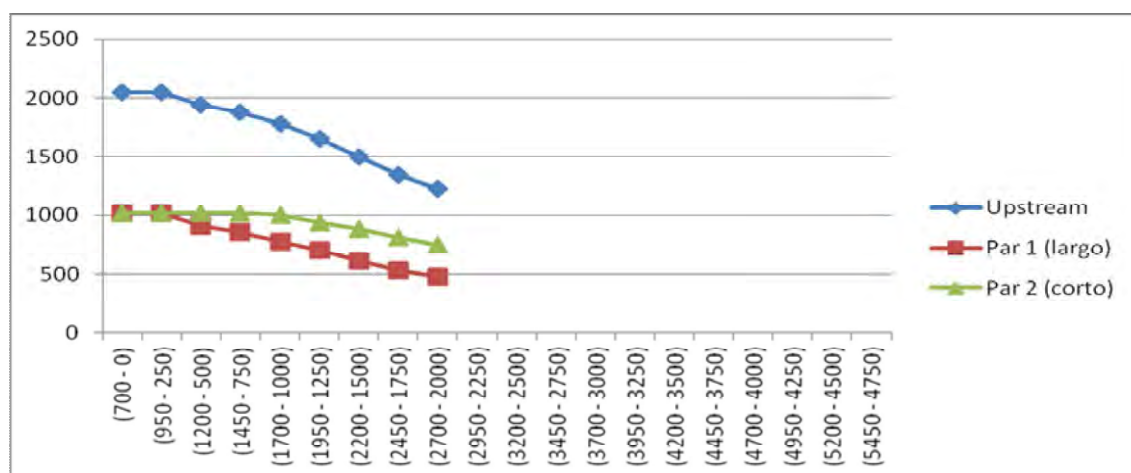


Fig. 7.168 Curva velocidades Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 700m Ruido: M1+M2

7.7.3.3.7. Comparativa medidas downstream

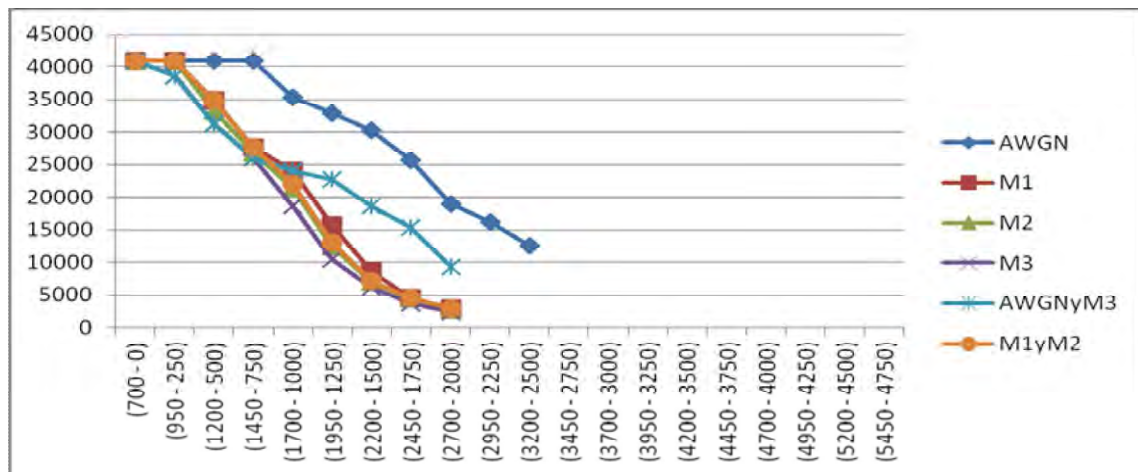


Fig. 7.169 Comparativa curvas Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps.
Diferencia longitud entre pares: 700m

Como se ha visto en las sucesivas graficas con los resultados de las pruebas, la tecnología VDSL2 y en consecuencia, el VDSL2 *bonding* es muy sensible a la atenuación dependiente de la longitud del par de cobre, por lo que perfiles que limitan la velocidad de sincronismo muy por debajo de la máxima velocidad que permite la tecnología es una buena técnica para asegurar la estabilidad de la conexión.

Es una posible solución cuando entre los pares que forman el grupo existe una gran diferencia de longitud y no se pueden alcanzar muy altas velocidades, asegurando además, especialmente por el par más largo, que una vez sincronizado el grupo se mantenga estable.

7.7.3.3.8. Comparativa medidas upstream

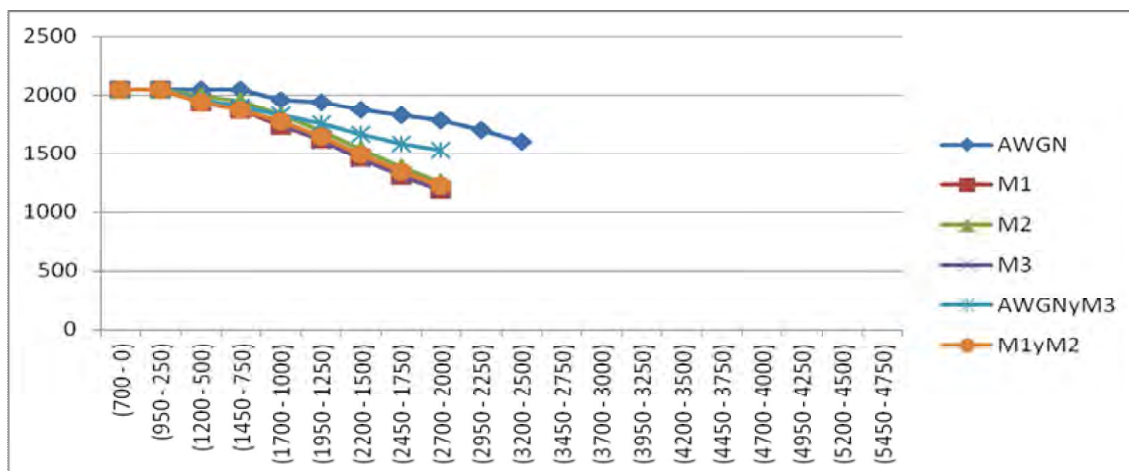


Fig. 7.170 Comparativa curvas Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: 20 Mbps/1 Mbps. Diferencia longitud entre pares: 700m

Para las velocidades de sincronismo en sentido ascendente, además, se puede asegurar una mayor homogeneidad en cuanto a las velocidades ofrecidas, sin que dependa de la longitud de los pares. Ya se ha visto que dependiendo de la distancia las velocidades posibles de sincronismo difieren mucho, sin que haya, además, rangos intermedios en las distancias medias.

7.8. CONCLUSIONES

7.8.1. VDSL2 frente ADSL2+

Las gráficas que se muestran a continuación son correspondientes a las pruebas realizadas con perfiles ADSL2+ y VDSL2 sin limitar la velocidad máxima de sincronismo.

Las primeras corresponden al escenario con las condiciones consideradas ideales:

- *Downstream*

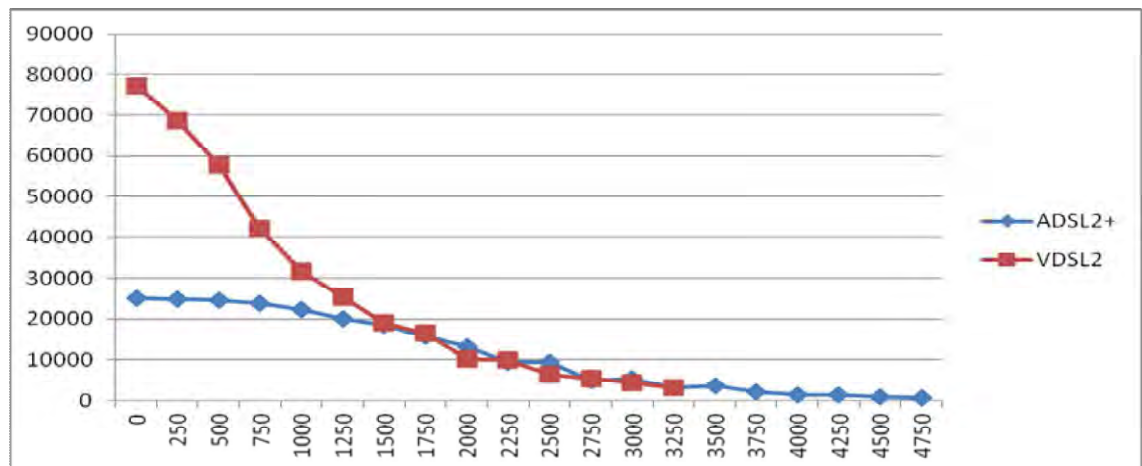


Fig. 7.171 Comparativa Downstream ADSL2+ vs VDSL2. Perfiles sin limitar. Ruido: AWGN

- *Upstream:*

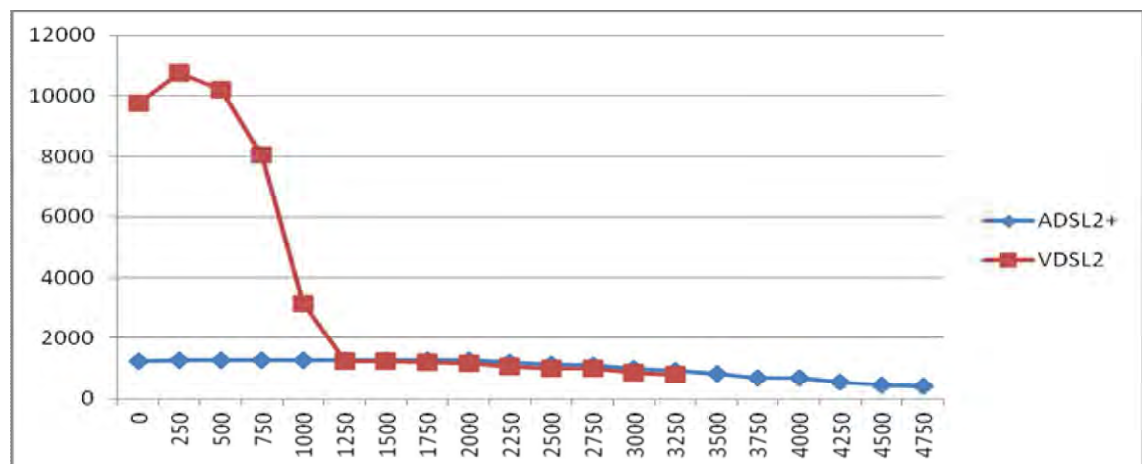


Fig. 7.172 Comparativa Upstream ADSL2+ vs VDSL2. Perfiles sin limitar. Ruido: AWGN

Haciendo una comparativa entre las gráficas obtenidas con los resultados de las pruebas de simulación en escenarios con ADSL2+ y con VDSL2 se observa lo siguiente:

Rendimiento

- El uso de tecnología VDSL2 solo es ventajoso frente al ADSL2+ en bucles cortos o muy cortos.
- Usando perfiles sin límite de velocidad, se comprueba que solo para distancias por debajo de los 1250 metros el rendimiento del VDSL2 ofrece velocidades mayores a las del ADSL2+.
- A partir de esta distancia el rendimiento es muy similar, siendo incluso ligeramente superior usando ADSL2+.

Alcance

- Para bucles largos la tecnología VDSL2 no es aconsejable. Las líneas no sincronizan por encima de los 3500 metros, aproximadamente, mientras que con ADSL2+ se alcanzan los 5000 metros.
- En las pruebas con modelos de ruido aplicados, se reducen estas distancias, pero se mantiene la relación, ADSL2+ alcanza distancias mayores, como se puede observar en las siguientes gráficas, que pertenecen al escenario en el que se aplica el modelo de ruido 3:

- *Downstream:*

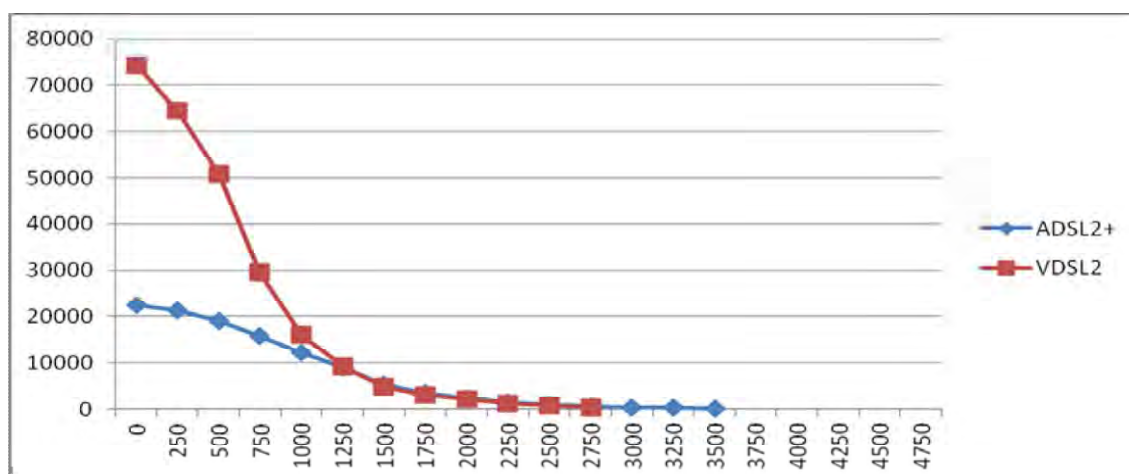


Fig. 7.173 Comparativa Downstream ADSL2+ vs VDSL2. Perfiles sin limitar. Ruido: M3

- *Upstream:*

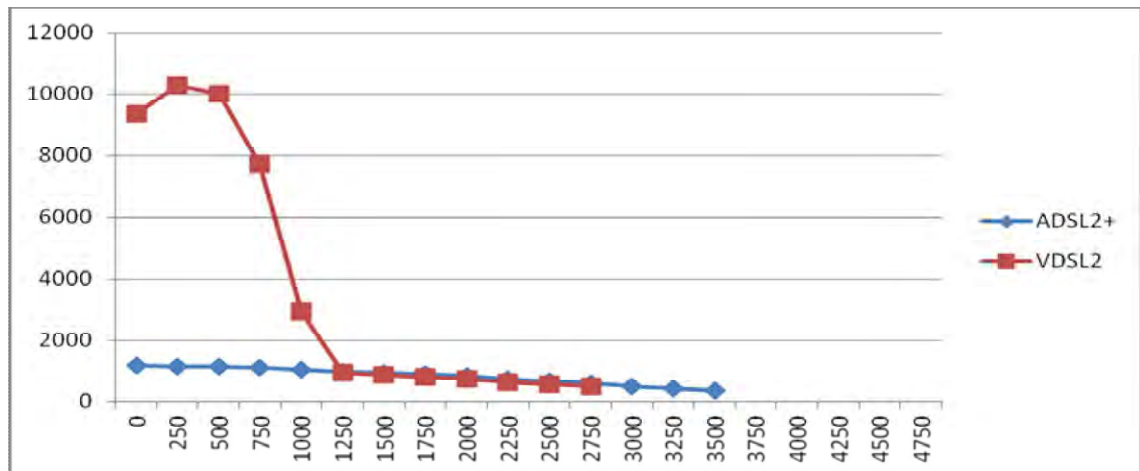


Fig. 7.174 Comparativa Upstream ADSL2+ vs VDSL2. Perfiles sin limtar. Ruido: M3

La mayoría de CPEs y tarjeta comerciales son multiDSL, por lo que los problemas de alcance se solucionan, debido a que, para distancias largas pueden sincronizar automáticamente en ADSL2+.

El VDSL solo es mejor en bucles cortos y muy cortos, para los demás el ADSL ofrece un rendimiento igual en cuanto a velocidad de sincronismo añadiendo más estabilidad debido al uso de la parte más baja espectro de frecuencias.

7.8.2. VDSL2 Bonding frente a VDSL2

Las gráficas que se muestran en este apartado, corresponden a líneas configuradas con perfiles VDSL2 que no limitan la velocidad máxima de sincronismo.

- *Downstream:*

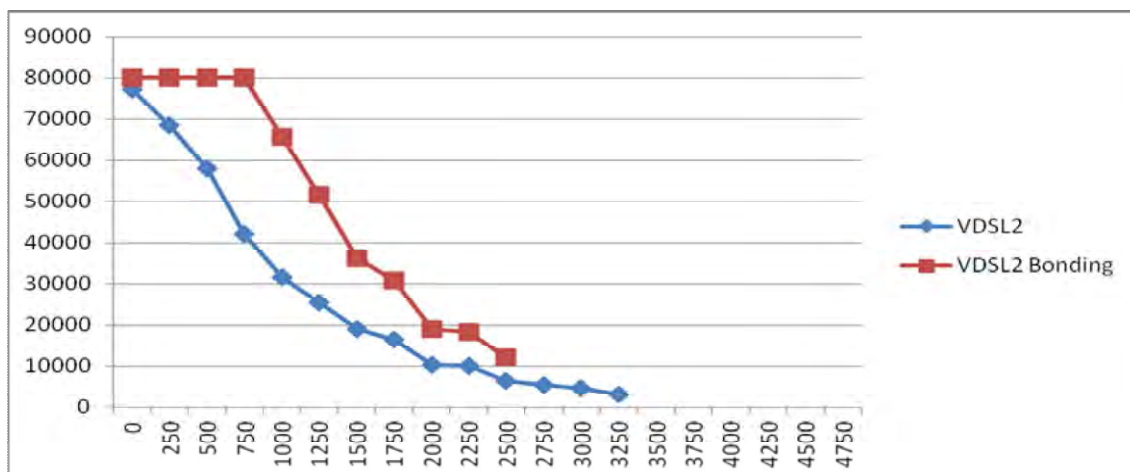


Fig. 7.175 Comparativa Downstream VDSL2 vs VDSL2 Bonding. Perfiles sin limitar. Ruido: AWGN

- *Upstream:*

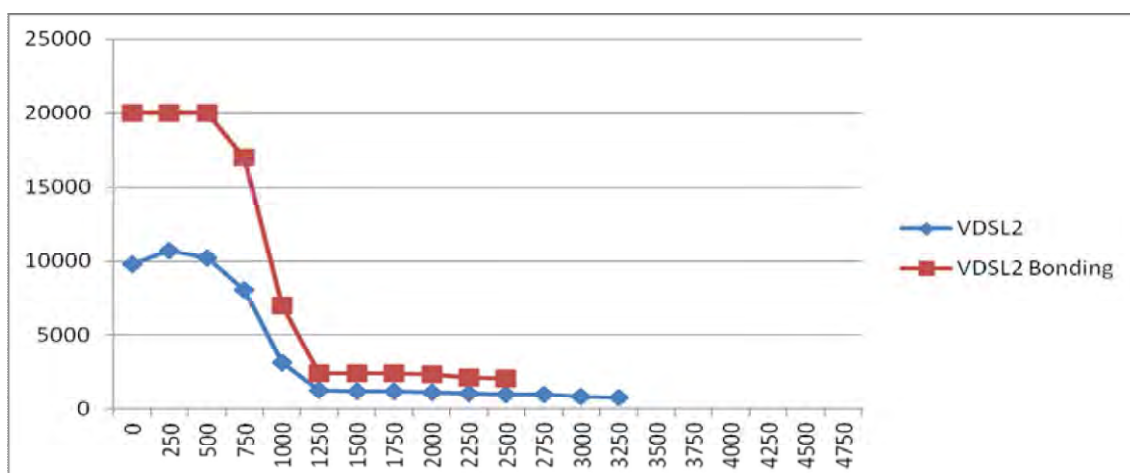


Fig. 7.176 Comparativa Upstream VDSL2 vs VDSL2 Bonding. Perfiles sin limitar. Ruido: AWGN

En esta ocasión, comparando los resultados que ofrece la tecnología *bonding* frente al uso de líneas VDSL2 simples, lo que se ve es:

Rendimiento:

- Usando tecnología VDSL2 *bonding* se pueden conseguir altas velocidades de sincronismo, de alrededor de 80 Mbps en sentido descendente y de 20 Mbps en sentido ascendente en bucles cortos.
- En las pruebas que incluyen algún modelo de ruido, las diferencias entre el rendimiento de ambas tecnologías, en sentido descendente disminuyen considerablemente, demostrando que la línea que usa VDSL2 *bonding* es más vulnerable frente al ruido de lo que lo es la línea VDSL2 en estas frecuencias. Esto se observa en las siguientes gráficas del mismo escenario donde se aplica el modelo de ruido 3.

- *Downstream:*

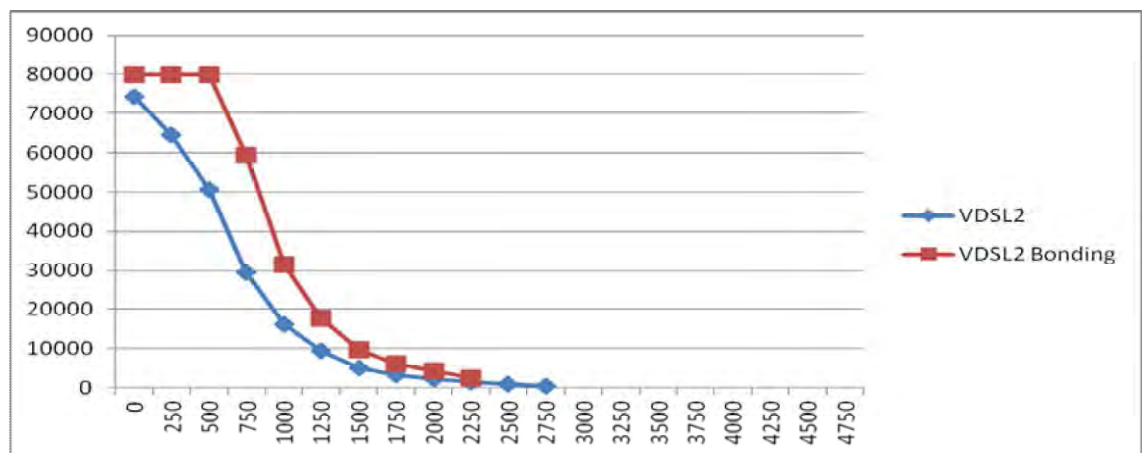


Fig. 7.177 Comparativa Downstream VDSL2 vs VDSL2 Bonding. Perfiles sin limitar. Ruido: M3

- *Upstream:*

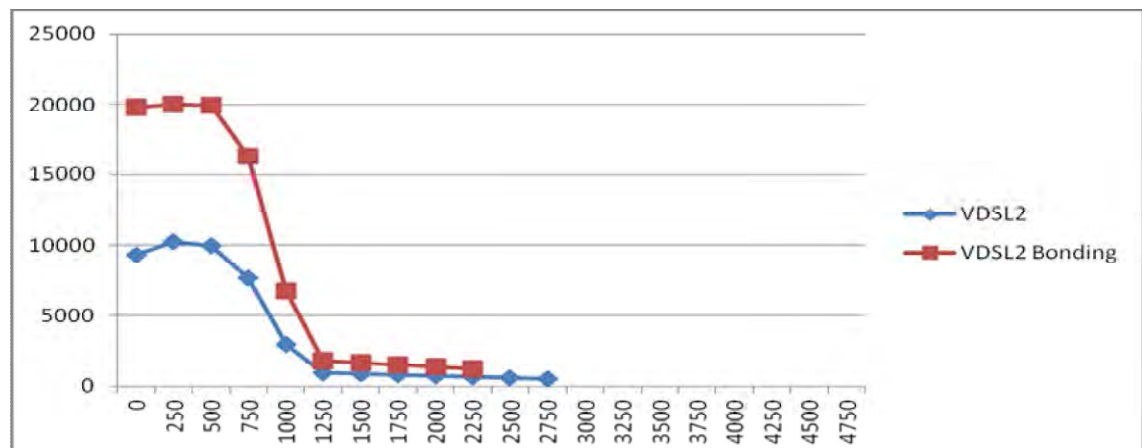


Fig. 7.178 Comparativa Upstream VDSL2 vs VDSL2 Bonding. Perfiles sin limitar. Ruido: M3

Alcance:

- Una vez más, el alcance de la tecnología disminuye con el uso de VDSL2 *bonding*, que está algo por debajo de la obtenida con VDSL2. Aunque en este caso el rendimiento siempre es superior, incluso es distancias medias, especialmente en el caso del sentido descendente.
- Haciendo uso de perfiles limitados, se puede aumentar en unos metros el alcance, como se puede ver en las gráficas a continuación, donde se compara el perfil sin limitar con un perfil limitado a 30 Mbps en sentido descendente y 3,5 Mbps en sentido ascendente.

- *Downstream:*

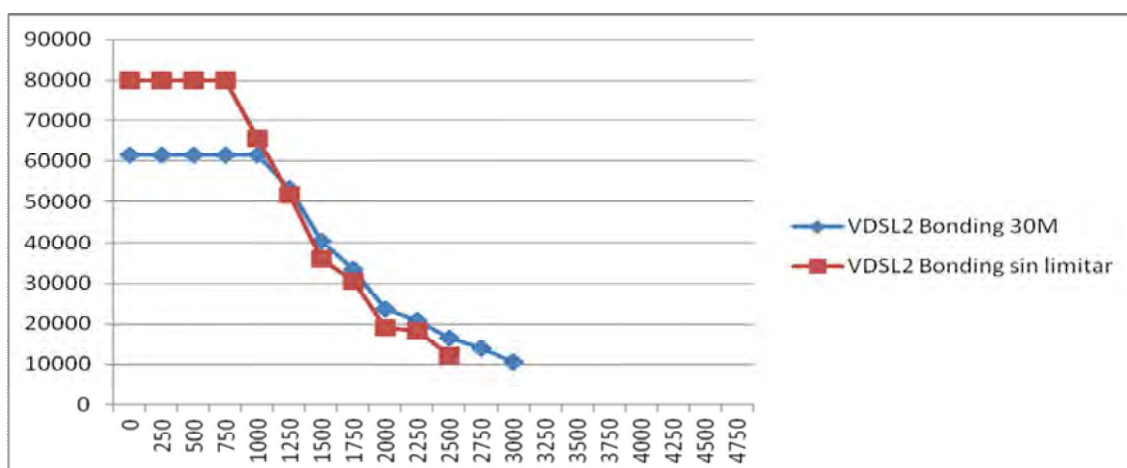


Fig. 7.179 Comparativa Downstream VDSL2 Bonding. Perfil: sin limitar vs VDSL2 Bonding. Perfil 30 Mbps/3,5 Mbps. Ruido: AWGN

- *Upstream:*

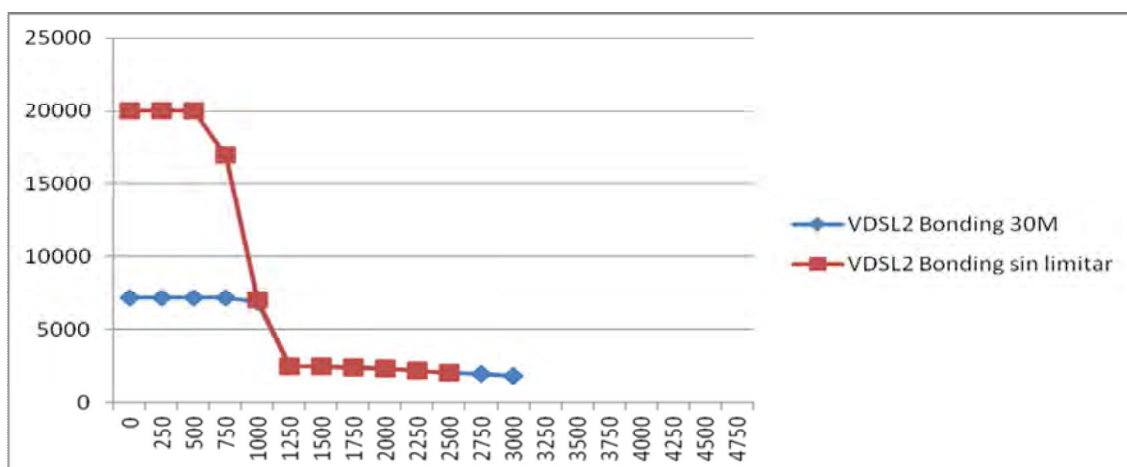


Fig. 7.180 Comparativa Upstream VDSL2 Bonding. Perfil: sin limitar vs VDSL2 Bonding. Perfil 30 Mbps/3,5 Mbps. Ruido: AWGN

7.8.3. Diferencia de longitudes entre los pares del grupo

Hasta este momento las conclusiones se han basado en pares que se suponían de longitudes similares. En las siguientes graficas se muestran las diferencias observadas al ir aumentando la diferencia de longitud entre los pares que forman el grupo, en 400 y 700 metros, en un escenario donde no se aplican limitaciones de velocidad al perfil ni ruido alguno exceptuando el ruido blanco:

- *Downstream:*

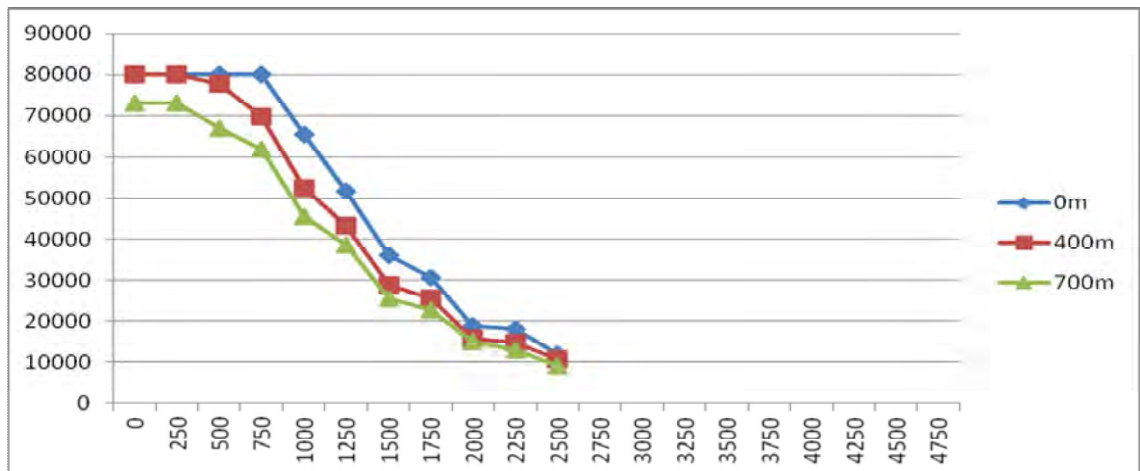


Fig. 7.181 Comparativa Downstream VDSL2 Bonding variando la diferencia de longitudes entre pares. Perfiles sin limitar. Ruido: AWGN

- *Upstream:*



Fig. 7.182 Comparativa Upstream VDSL2 Bonding variando la diferencia de longitudes entre pares. Perfiles sin limitar. Ruido: AWGN

En esta gráfica se observa la disminución en el rendimiento en el caso de que exista una diferencia entre las longitudes de los pares que forman el grupo, llegando a ser, en el caso de los pares con 700 metros de diferencia la suficiente como para que la gráfica de rendimiento no mejore la que se obtendría con un único par funcionando en VDSL2.

El ruido aplicado, además, parece afectar en mayor medida al grupo con mayor diferencia de longitud entre sus líneas en el rendimiento en sentido descendente, como se puede ver en los siguientes resultados, obtenidos en el mismo escenario, pero aplicando el modelo de ruido 3:

- *Downstream:*

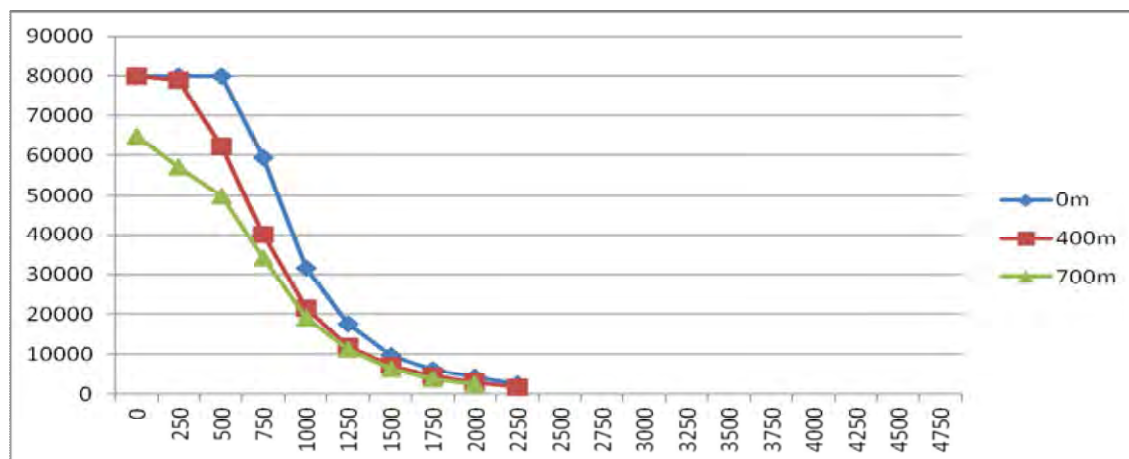


Fig. 7.183 Comparativa Downstream VDSL2 Bonding variando la diferencia de longitudes entre pares. Perfiles sin limitar. Ruido: M3

- *Upstream:*

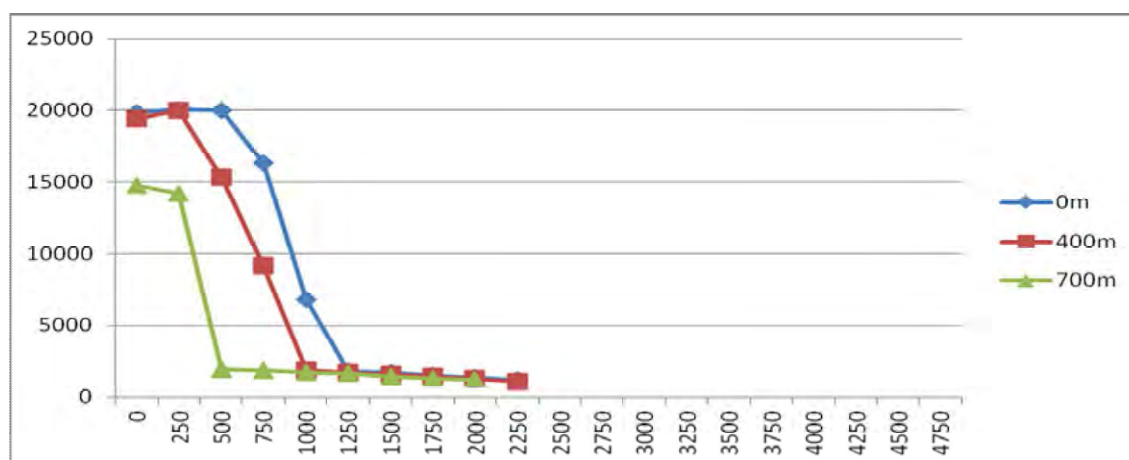


Fig. 7.184 Comparativa Upstream VDSL2 Bonding variando la diferencia de longitudes entre pares. Perfiles sin limitar. Ruido: M3

7.8.4. Resumen

A lo largo del estudio se ha podido ver como las tecnologías DSL han ido evolucionando con el fin de aprovechar lo máximo posible la capacidad que ofrece el par de cobre. Esto está motivado principalmente porque son tecnologías que hacen uso de una infraestructura ya instalada, que está ampliamente desplegada en todo el mundo, suponiendo un ahorro a las operadoras que ofrecen servicios de acceso de banda ancha, o dicho de otro modo permitiendo ofrecer mayores velocidades de acceso cada vez sin que eso suponga una inversión en desplegar una nueva infraestructura.

El problema, como se ha visto, es que a medida que las tecnologías van avanzando en el rango de velocidades que permiten alcanzar se reduce el alcance desde el punto de vista de la distancia entre el cliente y la central desde la que se despliega la señal. Esto se debe a que las tecnologías DSL hacen uso de cada vez mayores frecuencias dentro del espectro, y, como se ha visto, cuanto mayor es la frecuencia utilizada para transportar la información, menor es su inmunidad frente a la atenuación y el ruido presente en la línea.

Durante las pruebas se ha observado que el VDSL2 Bonding, una de las últimas tecnologías desarrolladas que permiten el acceso de alta velocidad usando el par de cobre, permite obtener velocidades muy altas, incluso mayores de las que actualmente se ofrecen en España utilizando otras tecnologías como el FTTH, pero únicamente en bucles cortos o muy cortos.

Esta es la principal desventaja de esta y otras tecnologías que se puedan desarrollar siguiendo este mismo camino, y es que la fibra hasta el hogar permite unas velocidades muy altas de acceso, sin verse afectada en la manera que lo hace el DSL, por la distancia a la central o el ruido que afecta al par de cobre.

Pero aún existe camino por recorrer en cuanto al acceso usando pares de cobre, y es que el despliegue de fibra necesario para cubrir las necesidades de todos los usuarios de banda ancha supone un altísimo coste para las operadoras, por lo que aún quedan muchos años para poder decir que la tecnología DSL se ha extinguido.

El VDSL2 bonding ofrece, sin embargo, velocidades de acceso mayores de las que se ofrecen actualmente, con una inversión mucho menor, ya que la topología de red sería la usada actualmente, y el coste se debería a la actualización de tarjetas y DSLAMs para soportar la tecnología.

Comercialmente, es un problema el hecho de que el alcance del VDSL2 bonding a su máximo rendimiento sea de unos pocos cientos de metros, ya que el porcentaje de bucles con esas características es muy bajo, pero existirían posibles soluciones para salvar este problema:

- VDSL2 *Bonding* permite el uso de más de dos líneas para formar un grupo. En este estudio se han utilizado solamente dos, pero se podrían conseguir velocidades de acceso aun mayores añadiendo más líneas.
- Usando perfiles de línea que limiten la velocidad de sincronismo se podría minimizar la diferencia que existe entre la velocidad de sincronismo en bucles muy cortos, cortos o medios. Añadiendo además la ventaja de que se ofrece una mayor estabilidad de la línea que si se usan perfiles sin limitar.

Por todo esto, el VDSL2 *Bonding*, junto con otras mejoras existentes de las que se ha hablado anteriormente, como el *vectoring*, parece una posibilidad para seguir explotando el par de cobre, mientras poco a poco se van desplegando las redes de acceso de fibra óptica, que es la solución que parece estar adoptando la mayoría de las operadoras.

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Sklar, Bernard: **“Digital communications: fundamentals and applications”**, Prentice-Hall, 1988
- [2] Huidobro Moya, José Manuel: **“Redes y servicios de telecomunicaciones”**, Paraninfo, 1999
- [3] Goralski, Walter: **“Tecnologías ADSL y xDSL”**, Osborne McGraw-Hill, 2000
- [4] Bingham, John A.C., **“ADSL, VDSL, and multicarrier modulation”**, John Wiley and Sons, 2000
- [5] Huidobro Moya, José Manuel, Roldán Martínez, David: **“Redes y servicios de banda ancha: tecnologías y aplicaciones”**, McGraw-Hill Interamericana de España, 2004
- [6] Golden, Philip, Dedieu, Hervé, Jacobsen, Krista: **“Fundamentals of DSL technology”**, Auerbach Publications, 2006
- [7] Golden, Philip, Dedieu, Hervé, Jacobsen, Krista: **“Implementation and Applications of DSL Technology”**, Auerbach Publications, 2007
- [8] Huidobro Moya, José Manuel: **“Telecomunicaciones: tecnologías, redes y servicios”**, Ra-Ma, 2010
- [9] DIATEL, Redondo, Antonio, Pérez, Emilia: **“Tecnologías de las redes de acceso”**

ITU-T

- [10] ITU-T Recommendation G.992.1, **“Transceptores de línea de abonado digital asimétrica”** Junio. 1999.
- [11] ITU-T Recommendation G.992.3, **“Transceptores de línea de abonado digital asimétrica 2”**, Julio 2002
- [12] ITU-T Recommendation G.992.5 **“Transceptores para línea de abonado digital asimétrica – Línea de abonado digital asimétrica 2 de anchura de banda ampliada (ADSL2+)”**, Mayo 2003

[13] ITU-T Recommendation G.993.1, “**Transceptores de línea de abonado digital de velocidad muy alta**”, Junio 2004

[14] ITU-T Recommendation G.993.2, “**Very high speed digital subscriber line transceivers 2 (VDSL2)**”, Diciembre 2011

[15] ITU-T Recommendation G.998.1, “**Vinculación multipar basada en el modo de transferencia asíncrono**”, Enero 2005

[16] ITU-T Recommendation G.998.2, “**Agrupación de múltiples pares Ethernet**”, Enero 2005

[17] TR-013, “**Interfaces and System Configuration for ADSL Central Office**”, Enero 1999

[18] TR-100, “**ADSL2/ADSL2plus Performance Test Plan**”, Marzo 2007

[19] TR-114, “**VDSL2 Performance Test Plan**”, Noviembre 2009

ETSI

[20] ETSI TS 101 388 V1.3.1, “**Transmission and Multiplexing (TM); Access transmission systems on metallic access cables; Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) -European specific requirements**”, Mayo 2002

[21] ETSI TS 101 270, “**Transmission and Multiplexing (TM); Access transmission systems on metallic access cables; Very high speed Digital Subscriber Line (VDSL);Part 1: Functional requirements**”, Julio 2003

WEB

[22] <http://www.broadband-forum.org>

[23] <http://es.wikipedia.org>